



VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ

BRNO UNIVERSITY OF TECHNOLOGY

FAKULTA STROJNÍHO INŽENÝRSTVÍ

FACULTY OF MECHANICAL ENGINEERING

LETECKÝ ÚSTAV

INSTITUTE OF AEROSPACE ENGINEERING

**NÁVRH PŘÍĐOVÉHO PODVOZKU PRO LETOUNY ŘADY
ZLÍN 40**

DESIGN OF THE NOSE LANDING GEAR FOR ZLIN 40 AIRCRAFT

DIPLOMOVÁ PRÁCE

MASTER'S THESIS

AUTOR PRÁCE

AUTHOR

Bc. Peter Bednář

VEDOUCÍ PRÁCE

SUPERVISOR

prof. Ing. Antonín Píšťek, CSc.

BRNO 2021

Zadání diplomové práce

Ústav: Letecký ústav
Student: **Bc. Peter Bednář**
Studijní program: Strojní inženýrství
Studijní obor: Stavba letadel
Vedoucí práce: **prof. Ing. Antonín Píštěk, CSc.**
Akademický rok: 2020/21

Ředitel ústavu Vám v souladu se zákonem č.111/1998 o vysokých školách a se Studijním a zkušebním řádem VUT v Brně určuje následující téma diplomové práce:

Návrh předového podvozku pro letouny řady Zlín 40

Stručná charakteristika problematiky úkolu:

Návrh předového podvozku pro letouny Zlín jako náhrada stávajícího předového podvozku v modernizované koncepci tlumiče, přenosu zatížení a způsobu uchycení na konstrukci trupu .

Cíle diplomové práce:

Výpočet zatížení podvozku pro letouny současně vyráběné v Zlin Aircraft (ZA).
Výběr podvozku pro zástavbu s charakteristikou blízkou stávajícímu tlumiči.
Pevnostní posouzení sestavy podvozku.
Návrh způsobu přenosu zatížení z podvozku do konstrukce trupu.
Pevnostní výpočet komplexní zástavby předového podvozku.
Výkresy základní sestavy.

Seznam doporučené literatury:

NIU, M. Ch.-Y. Airframe structural design. 2nd ed. Hong Kong: Hong Kong Conmilit Press Ltd. ISBN 962-7128-09-0.(Chapter 12.0).

Termín odevzdání diplomové práce je stanoven časovým plánem akademického roku 2020/21

V Brně, dne

L. S.

doc. Ing. Jaroslav Juračka, Ph.D.
ředitel ústavu

doc. Ing. Jaroslav Katolický, Ph.D.
děkan fakulty

ABSTRAKT

Táto diplomová práca sa zaoberá modernizáciou predného podvozku pre letúny rady Zlín 40. Hlavný dôraz v rešeršnej časti práce je kladený na výber nového podvozku a následný návrh zástavby. Pre návrh zástavby bol vypracovaný nový hmotový rozbor a prípady zaťaženia pristávacieho zariadenia. Únosnosť konštrukcie je overená pomocou analytických a numerických metód MKP. Dôležitým krokom práce je konštrukčné prevedenie konceptu zástavby. Cieľom práce je poukázať na nové možnosti podvozku a overiť jeho uskutočniteľnosť pre prípad budúcej realizácie.

ABSTRACT

This master' thesis deals with the design of the front landing gear for Zlín 40 aircrafts. The main emphasis in the research part of the work is placed on the selection of a new nose landing gear and the subsequent design of the structure. For the structural design was prepared a new mass analysis and load cases. The load-bearing capacity of the structure is verified using analytical and numerical methods of FEM. An important step of the work is the design concept of structure. The aim of the work is to point out the new possibilities of the nose landing gear structure and verify its feasibility for the case of future implementation.

KLÚČOVÉ SLOVÁ

Predný podvozok, VUT 100, Z143 Lsi, MKP, hmotový rozbor, prípady zaťaženia

KEYWORDS

Nose landing gear, VUT 100, Z143 Lsi, FEM, mass analysis, load cases

BIBLIOGRAFICKÁ CITÁCIA

BEDNÁŘ, Peter. *Návrh před'ového podvozku pro letouny řady Zlín 40*. Brno, 2021. Dostupné také z: <https://www.vutbr.cz/studenti/zav-prace/detail/133198>. Diplomová práce. Vysoké učení technické v Brně, Fakulta strojního inženýrství, Letecký ústav. Vedoucí práce Antonín Píštěk.

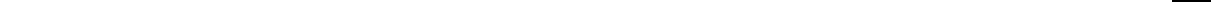
ČESTNÉ PREHLÁSENIE

Prehlasujem že som túto diplomovú prácu na téma **návrh predného podvozku pre letúny rady Zlín 40** vypracoval samostatne s použitím odbornej literatúry a prameňov uvedených v zozname použitých zdrojov.

V Brne 19.5.2021

.....

Bc. Peter Bednář



POĎAKOVANIE

Rád by som sa touto cestou poďakoval svojmu vedúcemu diplomovej práce pánu prof. Ing. Antonínovi Píštěkovi, CSc za vždy ústretový prístup a cenné rady pri tvorbe diplomovej práce. Ďalej by som sa chcel poďakovať svojej rodine za veľkú podporu počas celého štúdia.

Obsah

| | |
|--|-----------|
| Úvod..... | 15 |
| 1. Predstavenie firmy ZLÍN AIRCRAFT | 16 |
| 2. Popis letúnu Z 143 Lsi GENIUS | 18 |
| 3. Popis súčasného pristávacieho zariadenia | 21 |
| 3.1 Predný podvozok | 21 |
| 3.2 Hlavný podvozok..... | 24 |
| 4. Dôvod návrhu nového predného podvozku | 25 |
| 5. Predné podvozky letúnov v hmotnostnej kategórii Z 143 LSI..... | 26 |
| 5.1 Diamond DA 40NG..... | 26 |
| 5.2 Vulcanair V1.0..... | 27 |
| 5.3 Cessna 182 skylane..... | 28 |
| 5.4 VUT 100 Cobra | 29 |
| 6. Výber podvozku..... | 30 |
| 6.1 Pevnostné posúdenie podvozku..... | 30 |
| 7. Návrh zástavby predného podvozku | 31 |
| 7.1.1 Varianta 1 : Zástavba podvozku VUT 100 do osi symetrie | 31 |
| 7.1.2 Varianta 2 : Uchytenie predného podvozku VUT 100 na motorové lôže | 32 |
| 7.1.3 Varianta 3 : Zástavba podvozku VUT 100 do pôvodných závesových bodov .. | 34 |
| 7.1.4 Výber zástavby predného podvozku | 34 |
| 8. Hmotový rozbor..... | 35 |
| 8.1 Rozbor hmotností | 35 |
| 8.2 Prázdna hmotnosť | 37 |
| 8.3 Výpočet centráže | 38 |
| 8.3.1 Výpočet polohy ťažiska..... | 38 |
| 8.3.2 Hmotnostná obálka..... | 38 |
| 9. Zaťaženia pristávacieho zariadenia | 41 |
| 9.1 Výber hmotnostných konfigurácií | 41 |
| 9.1.1 Parametre podvozku pre výpočet pozemného zaťaženia | 43 |
| 9.1.2 Stanovenie klesajúcej rýchlosti CS 23.473 (d)..... | 43 |
| 9.2 Prípady zaťaženia | 44 |
| 9.2.1 Statické zaťaženie - CS 23.479 | 44 |
| 9.2.2 Vodorovné pristátie CS 23.479 | 45 |
| 9.2.3 Vodorovné pristátie so sklonenými reakciami CS 23.479 (a)(2)(i) | 45 |
| 9.2.4 Vodorovné pristátie s predným kolesom tesne nad zemou CS 23.479 (a)(2)(ii) | |

| | | |
|------------|---|-----------|
| 9.2.5 | Pristátie s veľkým uhlom nábehu CS 23.481 | 48 |
| 9.2.6 | Pristátie na jedno koleso CS 23.483 | 49 |
| 9.2.7 | Bočné zaťaženie CS 23.485 | 50 |
| 9.2.8 | Podmienky brzdenia pri rolovaní CS 23.493 | 51 |
| 9.2.9 | Dodatočné podmienky pre predné podvozky CS 23.499 | 52 |
| 9.2.10 | Zaťaženie pri vlečení CS 23.509 | 53 |
| 9.3 | Záver- súhrn najkritickejších hodnôt | 55 |
| 10. | Pevnostný výpočet zástavby podvozku..... | 56 |
| 10.1 | MKP analýza..... | 56 |
| 10.2 | Dimenzovanie prútov podvozku | 59 |
| 10.2.1 | Stabilita prútov – Eulerova metóda | 59 |
| 10.3 | Deformácia podvozku | 61 |
| 11. | Návrh podvozkového lôže | 62 |
| 11.1 | Pevnostný výpočet uzlov | 65 |
| 11.1.1 | Pevnostný výpočet oka oceľového závesu pre prúty 1, 3, 4, 6 | 65 |
| 11.1.2 | Pevnostný výpočet oka oceľového závesu pre prúty 2, 5 | 68 |
| 11.1.3 | Pevnostný výpočet oka podvozkového lôže uzlu D | 69 |
| 11.1.4 | Pevnostný výpočet oka podvozkového lôže uzlu E, F | 70 |
| 11.2 | Súčiniteľ bezpečnosti | 71 |
| 11.3 | Návrh klbového upevnenia trubkovej zástavby | 71 |
| 12. | Hmotnostné zhodnotenie návrhu | 72 |
| | Záver..... | 73 |
| | Zoznam použitých zdrojov | 74 |
| | Zoznam použitých skratiek a symbolov | 76 |
| | Zoznam tabuliek..... | 78 |
| | Zoznam obrázkov | 79 |
| | Zoznam príloh | 81 |

Úvod

Cieľom tejto práce je konštrukčný návrh predného podvozku pre letúny Zlín rady 40 ako náhrada súčasného predného podvozku v modernizovanej koncepcii tlmiča, prenosu zaťaženia a spôsobu uchytenia na konštrukciu.

Počiatkový koncept predného podvozku vychádzal zo zástavby na kovovú priehradovú konštrukciu trupu letúnu. Tento typ uchytenia podvozku bol navrhnutý pre letúny Z 242, Z 143 a ďalšie typy. Podvozok a spôsob jeho uchytenia sa od 60tych rokov až do tejto doby vôbec nezmenil. Návrh podvozku z daného hľadiska veľmi dobre plnil svoju úlohu pre cvičný a robustný letún. Z hľadiska výroby, technického prevedenia a celkovej hmotnosti je ale neefektívny a v dnešnej dobe už zastaralý.

Pre uskutočnenie zástavby predného podvozku na priehradovú konštrukciu trupu musela byť hydro-pneumatická časť (tlmič) uchytená pomocou nadstavby tak zvaným “saxofónom”. Z daného dôvodu hmotnosť predného podvozku narástla a výrazne sa skomplikovala výroba tohto komponentu. V podvozku bol následne klasický systém prenosu krútiaceho momentu kolesa nožnicami nahradený systémom guľičiek a drážok. Daná zmena zvýšila hmotnosť podvozku a zvýšil sa aj aerodynamický odpor letúnu.

Táto práca je rozdelená do piatich hlavných blokov. Prvá časť práce sa zaoberá predstavením letúnu a jeho vlastností. Pre detailnejšie porozumenie problematiky sa druhá časť práce venuje rešeršnej časti podvozkov pre letúny v hmotnostnej kategórii Z 143. V tejto časti práce ide hlavne o rozšírenie a zváženie možností zástavby nového podvozku u letúnov v podobnej hmotnostnej kategórii. Tretí blok práce sa zaoberá rôznymi variantami zástavby už zvoleného predného podvozku. Následne po zvolení návrhu sa prepočítava nová predpokladaná hmotnostná obálka letúnu a tým sa presúvame k štvrtému bloku práce v ktorom je počítané zaťaženie pristávacieho zariadenia. Výpočet pristávacích prípadov je komplexný vrátane hlavného podvozku podľa predpisu CS-23. Finálna časť práce sa zaoberá pevnostným výpočtom a návrhom nového konceptu podvozového lôže.

1. Predstavenie firmy ZLÍN AIRCRAFT

V minulosti figurovala firma ZLIN AIRCRAFT pod názvom ZLINSKA LETECKA a.s. a bola založená známym podnikateľom Janem Antonínem Baťou v roku 1934. Firma sa nachádza v Otrokoviciach vzdialených necelých 10 km od mesta Zlín. Ako prvým sériovo vyrábaným lietadlom sa stal bezmotorový klzák Z-I nasledovaný ďalšími typmi Z-II až Z-VII.

Prvé a najviac úspešné motorové lietadlo sa stal dolnoplošník s celodreveným krídlom Z-XII, ktorý sa stal aj žijúcou legendou predvojnového športového lietania. Daný letún sa stal modelom pre série lietadiel označenia Z-212. Z-XII bol poháňaný Americkým motorom-Continental.



Obr. 1 Z-XII [1]

V roku 1937 bolo skonštruované rýchle lietadlo na cestovanie Z-XIII. Daný letún bol elegantný celodrevený dolnoplošník s pristávacími klapkami a vrtuľou so schopnosťou meniť uhol nastavenia. Vďaka týmto charakteristikám lietadlo dosahovalo pozoruhodnú maximálnu rýchlosť 350 km/h. Daný projekt bol neskôr pozastavený z dôvodu vojny. Počas vojny do roku 1945 sa vyrábali Z-281, Z-381 ktorých bolo vyrobených 465 kusov.

Po skončení druhej svetovej vojny na základe výhry tendru vypísaného ministerstvom obrany začala spoločnosť vyrábať cvičné a športové lietadlá typu Trener so základným prvým typom Z-26. Jednalo sa o stroj zmiešanej konštrukcie ktorý mal trup zvarovaný z trubiek potiahnutý plátnom a celodrevené chvostové plochy a krídlo. Sériová výroba rady Trener bežala v 6 postupne modernizovaných základných typoch (Z-26, Z-126, Z-226, Z-326, Z-526, Z-726)

Tab. 1 Výroba Trenerov v číslach [3]

| Rok výroby | Typ | Počet vyrobených kusov |
|------------|-------|------------------------|
| 1947-51 | Z-26 | 163 |
| 1954-56 | Z-126 | 166 |
| 1956-61 | Z-226 | 364 |
| 1959-68 | Z-326 | 436 |
| 1966-74 | Z-526 | 332 |
| 1973-74 | Z-726 | 32 |

V šesťdesiatych rokoch bola poverená konštrukčná skupina aby navrhla nové rady letúnu ktoré by mohli zaistiť úplný výcvik pilotov – od základného školenia až po nácvik akrobacie a lietania podľa prístrojov. Rada bola navrhnutá pre dopravu osôb, nákladnú dopravu a pre špeciálne použitie. Počas návrhu konštruktéri dospeli k rozhodnutiu že drak by mal byť zhodný pre dva základné dvojmiestne typy Z-41 , Z-42 a typ Z-43 ktorý je štvormiestny a mal by sa líšiť iba v niektorých častiach konštrukcie. Vytvorila sa rada v ktorej sa nachádzalo 70% spoločných dielov. V priebehu rokov boli letúny rady Z-40 modifikované novými vodorovnými chvostovými plochami, kovovými vrtuľami a zástavbou kvalitnejších motorových jednotiek.

V súčasnosti sa vo firme Zlín Aircraft vyrábajú modernizované typy Z-242 L GURU a Z-143 Lsi GENIUS , ktoré sa držia základného konceptu draku zo šesťdesiatych rokov.



Obr. 2 Z-242 L GURU [2]

Táto kapitola bola spracovaná za základe literatúry [2], [3]

2. Popis letúnu Z 143 Lsi GENIUS

Koncept letúnu ako už bolo spomenuté v predchádzajúcej kapitole vychádza z kategórie celokovového nitovaného dolnoplošníka Z-40. Lietadlo bolo navrhnuté pre pokračujúci letecký výcvik , nočné a IFR výcvikové lety, záchranné lety a kuriérsku činnosť. Kapitola čerpá zo zdroja [5], [2]



Obr. 3 Z 143 Lsi GENIUS [2]

Tab. 2 Technické parametre Z 143 Lsi GENIUS [2]

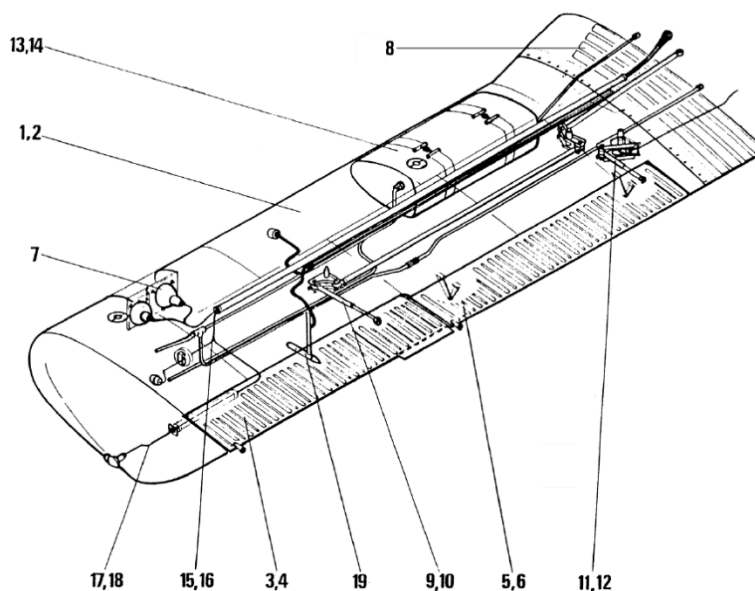
| Kategória | Normálna | Cvičná | |
|--|--------------------------|-----------|------|
| Hmotnosť prázdneho letúnu | 855 | 855 | kg |
| Maximálna hmotnosť pri vzlete | 1350 | 1080 | kg |
| Násobok zaťaženia | +3,8/-1,5 | +4,4/-1,8 | - |
| Dĺžka rozjazdu pri vzlete | 295 | 170 | m |
| Dĺžka vzletu do 50 ft | 640 | 450 | m |
| Maximálna stúpacia rýchlosť | 4,9 | 7,4 | m/s |
| Maximálna rýchlosť | 259 | 259 | km/h |
| Objem hlavných nádrží | 2 x 61 | 2 x 61 | l |
| Objem prídavných nádrží | 2 x 51 | | l |
| Dolet – 2200 ot./min , 10000 ft | 1100 | 460 | km |
| Rozpätie krídel | 10,14 | | m |
| dĺžka | 7,58 | | m |
| výška | 2,91 | | m |
| | | | |
| Motor | | | |
| Výrobca | TEXTRON Lycoming , USA | | |
| Typ | IO-540-C4D5 | | |
| Maximálny výkon 2400 ot./min | 235 | | hp |
| Maximálny cestovný výkon 2200 ot./min | 175 | | hp |
| Ekonomický cestovný výkon 2000 ot./min | 140 | | hp |
| Vrtuľa (konštantné otáčky) | | | |
| Výrobca | MT Propeeller, Nemecko | | |
| Typ | MTV-9-B/195-45a(3 listá) | | |

Jednou z vlastností letúnu je možnosť prestavby zo štvormiestneho na dvojmiestnu verziu. Prídavné nádrže ktoré môžu byť použité pre letún sú v súčasnej dobe využiteľné pre Z 143 a u akrobatickej verzie Z 242 sú prídavné nádrže zrušené.

Lietadlo je vybavené systémom safe life ktorý slúži k sledovaniu a vyhodnocovaniu životnosti ktorá pri danom stroji presahuje cez 20 000 letových hodín. Hlavný nosník centroplánu je vybavený kontrolou pretlaku dusíku .

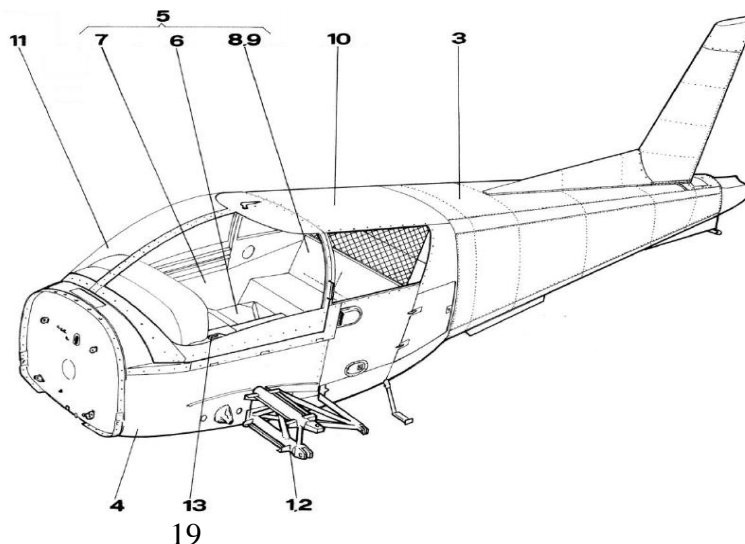
Stroj disponuje avionikou Garmin TXI upravenou pre daný typ letúnu ktorá integruje všetky základné motorové a letecké prístroje do digitálneho obrazu.

Krídlo je obdĺžnikového pôdorysu kovovej konštrukcie potiahnuté plechovým potahom zo zliatiny hliníka (dural). Krídlo tvorí hlavný a pomocný nosník. V krídle je zainegrovaná hlavná nádrž o objeme 2 x 60l (13,14), mechanizácia pre krídelká (9,10), vztlakovú mechanizáciu (11,12) a pitotova trubica (19) vid'. Obr. 4 .Krídelko a klapka sú štrbinového typu .



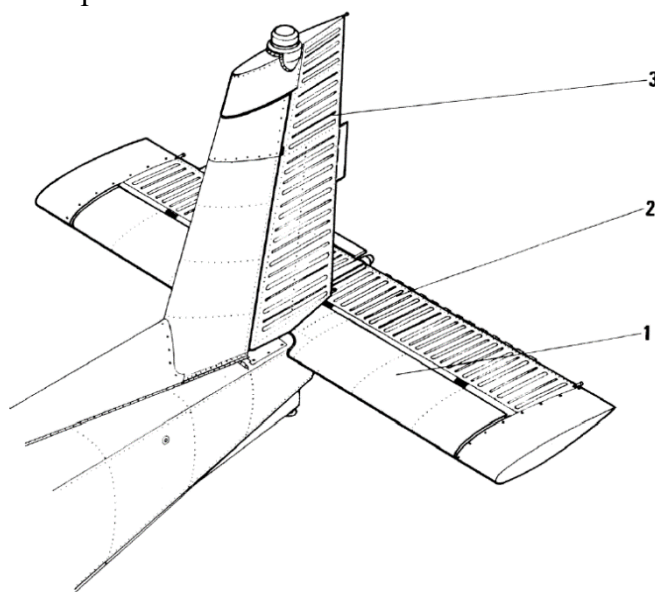
Obr. 4 Krídlo Z 143 Lsi GENIUS [4]

Trup pozostáva z kovovej priehradovej konštrukcie tvorenej z trubiek (1,2) ku ktorej sa montuje polo-škrupinová zadná časť trupu (3). Následne sa na kostru pripevňuje vnútorná (5) a vonkajšia (4) karoséria ktorá je tvorená z duralových plechov a sklených laminátov . Číslo (10 a 11) znázorňujú pevný a posuvný kryt kabíny . Kabína letúnu je štvormiestna v konfigurácii sedadiel 2+2. Pilotné sedadlá v usporiadaní "vedľa seba".

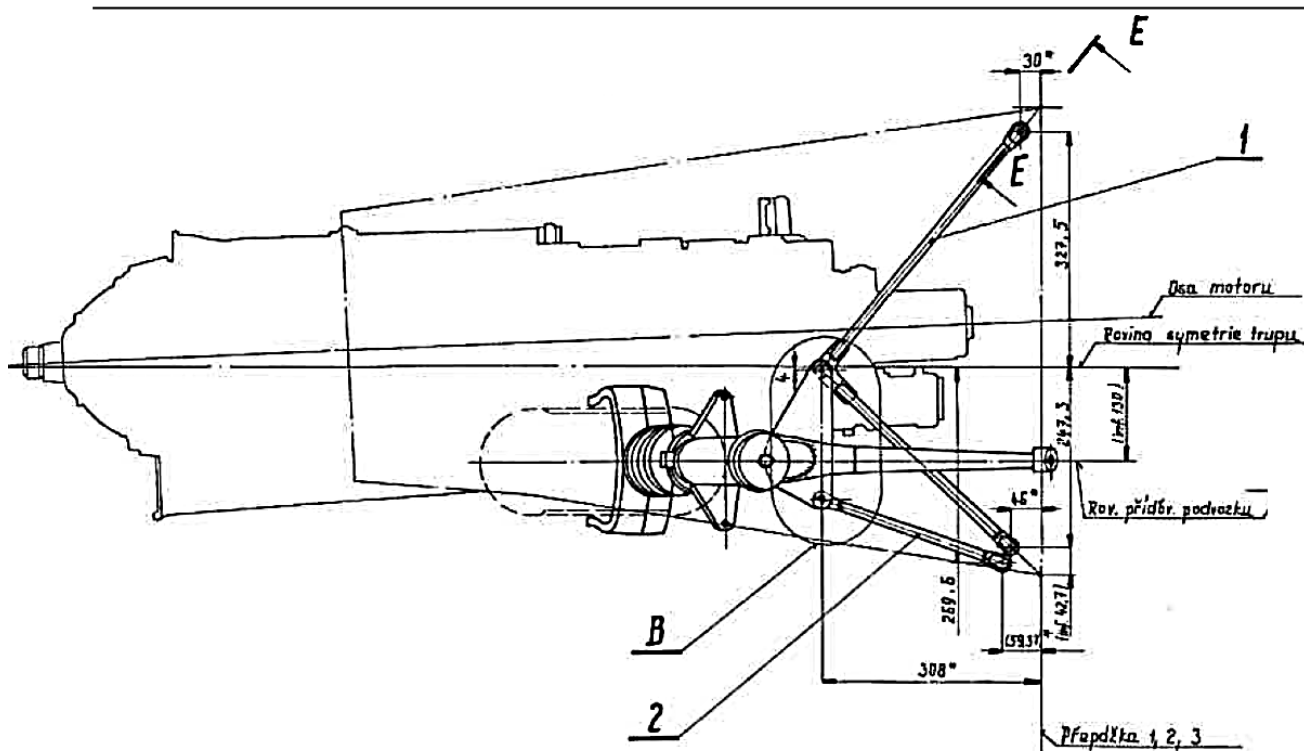


Obr. 5 Trup Z 143 Lsi GENIUS [4]

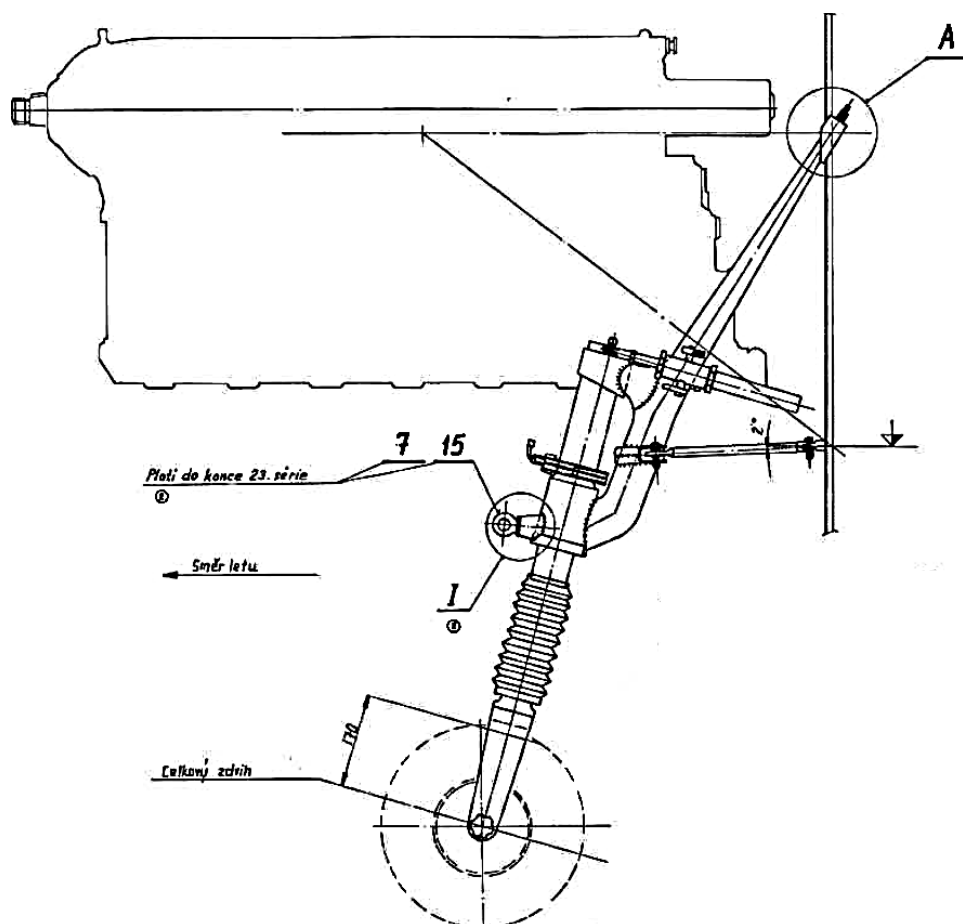
Chvostové plochy sú samonosné , obdobne ako krídla kovovej konštrukcie potiahnuté duralovým plechom. Výškové kormidlo má ovládateľnú vyvažovaciu plôšku , smerové kormidlo má pevnú vyvažovaciu plôšku.



Obr. 6 Chvostové plochy [4]

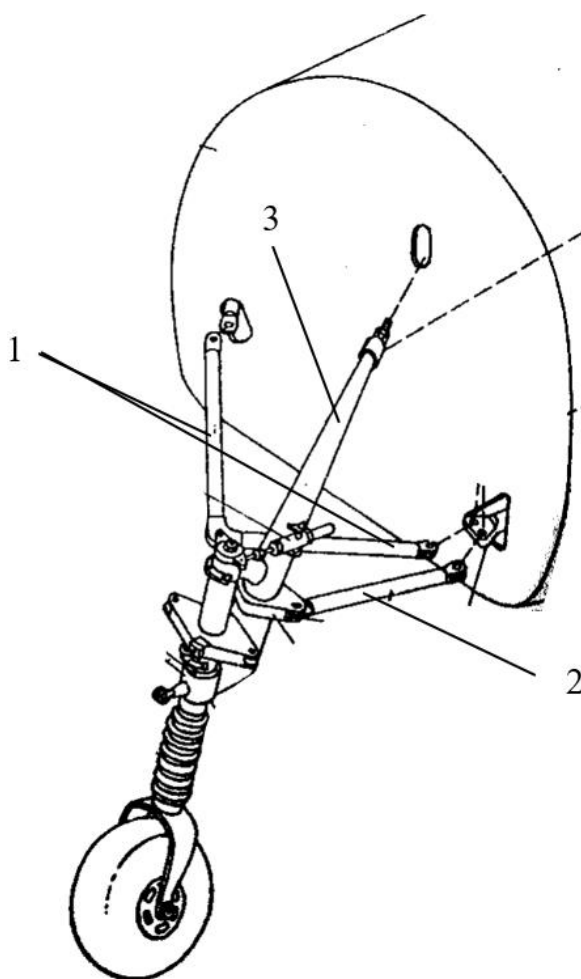


Obr. 8 - Pohľad na umiestnenie podvozku z vtáčej perspektívy [5]



Obr. 9 Pohľad z boku na umiestnenie predného podvozku v relácii s motorom [5]

Po modernizácii motorovej jednotky na menší a ľahší motor TEXTRON Lycoming IO-540-C4D5 už bolo možné umiestniť predný podvozok do osi symetrie, ale nakoniec sa ponechal pôvodný koncept. Na nasledujúcom obrázku Obr. 10 si môžeme povšimnúť zástavbu podvozku pomocou dvojitej vzpery (1), vzpery (2) a “saxofónu” (3), ktorý sa spolu so vzperami pripevňujú k prútovej konštrukcii strednej časti letúnu pomocou troch uzlov.



Obr. 10 Upevnenie podvozku [4]

Predný podvozok disponuje hydro-pneumatickým tlmičom ktorý je otočne uložený v uchytení podvozku a tlmičom bočných kmitov. Riadenie je mechanické, ovládané z pilotnej kabíny pomocou pedálov. Podvozok neobsahuje brzdnu sústavu.

Tab. 4 – Technické parametre predného podvozku 793 HPK-185-19 [6]

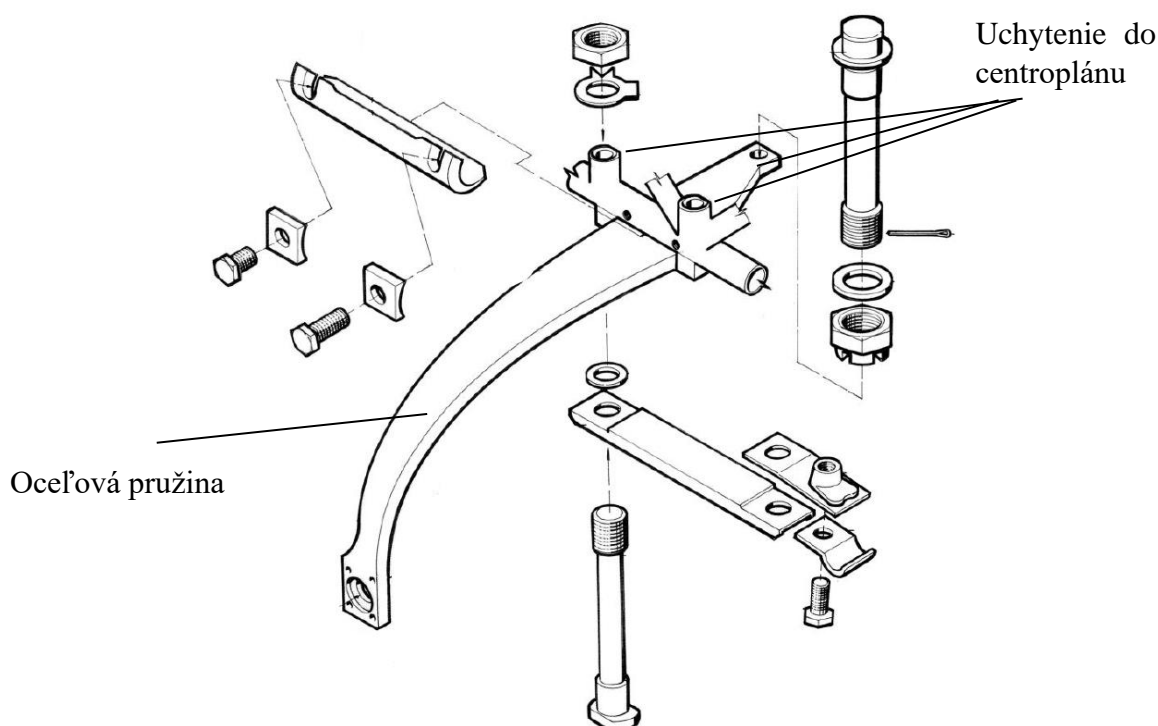
| Tlmič podvozku pri použití na Z 143 LSi | | |
|---|----------------|-----------------|
| Absorbovaná prevádzková energia tlmičom a kolesom | 1650 | J |
| Max prípustná prevádzková sila na kolese | 10 000 | N |
| Maximálny zdvih tlmiča | 190 ± 1 | mm |
| Počiatočná sila tlmiča | 1275 ± 98 | N |
| Druh tlmiacej kvapaliny | AMG 10 | |
| Plniace množstvo kvapaliny | 216 | cm ³ |
| Plniaci tlak vzduchu (dusík) | $0,4 \pm 0,01$ | MPa |
| Rozmer kolesa | 350 x 135 | mm |
| Plniaci tlak v pneumatike pri skúške | 0,25 | MPa |
| Tlmič bočného kmitu | | |
| Maximálny zdvih tlmiča | ± 40 | mm |
| Objem tlmiča | 50 | cm ³ |
| Max. osová sila | 5000 | N |
| Riadenie | | |
| Tlmič podvozku je možné otočiť v uchytení o | ± 38 | ° |

| | | |
|--|-----------------|----|
| Riadením z pilotnej kabíny je možné otočiť o | ± 15 | ° |
| Maximálna sila potrebná k natáčaniu podvozku (na ramene riadenia 92,5 mm) | 100 | N |
| Celková hmotnosť predného podvozku bez kolesa | $13,70 \pm 5\%$ | kg |
| Celková hmotnosť predného podvozku | $19,46 \pm 5\%$ | kg |
| Tesnosť tlmičov predného podvozku je overená v rozmedzí teplôt | +60 až -40 | °C |

Životnosť predného podvozku sa predpokladá na 15 000 pristátí a to za predpokladu dvoch generálnych opráv . Prvá generálna oprava po 5 000 + 500 pristátí . Druhá generálna oprava maximálne po 10 000 pristátí od začiatku používania podvozku. [5]

3.2 Hlavný podvozok

Hlavný podvozok je pevný a uchytený na nosník centroplánu . Hlavnú časť podvozku tvoria oceľové pružiny . Ako už bolo spomínané, rozchod hlavného podvozku je 2440 mm . Šľapky brzdy sú umiestnené na pedáloch nožného riadenia , ovládajú samostatne brzdy kolies hlavného podvozku. Kolesá podvozku sú vybavené diskovými brzdami ktoré sú hydraulické s automatickým vymedzovaním vôle . Na nasledujúcom obrázku je znázornené uchytenie ľavej pružiny k centroplánu.



Obr. 11 Uchytenie hlavného podvozku k centroplánu [4]

4. Dôvod návrhu nového predného podvozku

Počiatočný koncept predného podvozku vychádzal zo zástavby na kovovú priehradovú konštrukciu trupu letúnu. Tento typ uchytenia podvozku bol navrhnutý pre letúny Z 242, Z 143 a ďalšie typy. Podvozok a spôsob jeho uchytenia sa od 60tych rokov až do tejto doby vôbec nezmenil. Návrh podvozku z daného hľadiska veľmi dobre plnil svoju úlohu pre cvičný a robustný letún. Z hľadiska výroby, technického prevedenia a celkovej hmotnosti je ale veľmi neefektívny a v dnešnej dobe už zastaralý.

Pre uskutočnenie zástavby predného podvozku na priehradovú konštrukciu trupu musela byť hydro-pneumatická časť (tlmič) uchytená pomocou nadstavby tak zvaným "saxofónom". Z daného dôvodu hmotnosť predného podvozku narástla a výrazne sa skomplikovala výroba tohto komponentu. V podvozku bol následne klasický systém prenosu krútiaceho momentu kolesa nožnicami nahradený systémom guľičiek a drážok. Daná zmena zvýšila hmotnosť podvozku a z dôvodu nutnosti zväčšenia priemeru aj aerodynamickú neefektívnosť.

5. Predné podvozky letúnov v hmotnostnej kategórii Z 143 LSI

Táto kapitola obsahuje súbor lietadiel ktoré sú hmotnostne podobné letúnu Z 143 LSI. Ku každému letúnu je priradený základný popis a následne typ predného podvozku v ktorom sa rozoberá spôsob zástavby do konštrukcie a spôsob tlmenia.

5.1 Diamond DA 40NG

Popis letúnu

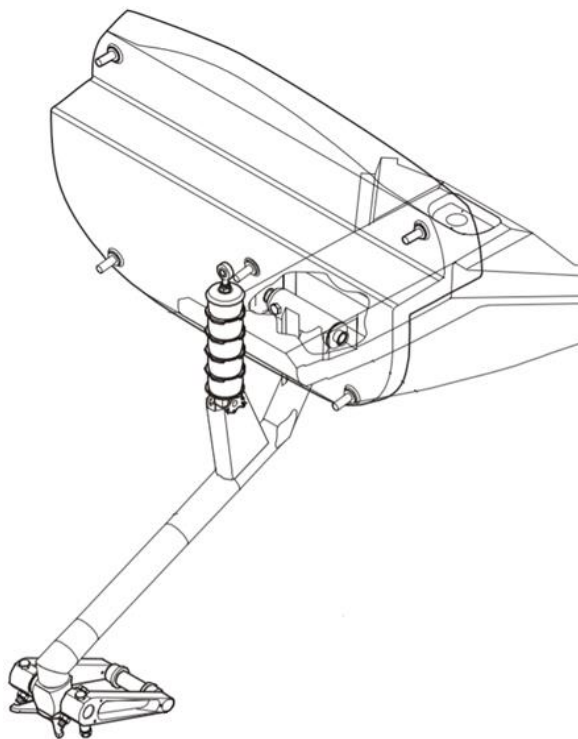
1. Diamond DA 40NG je Rakúsky jednomotorový štvormiestny letún postavený z kompozitných materiálov. Letún má dolnoplošné usporiadanie krídel a chvostové plochy konfigurácie T. Trojbodové pristávacie zariadenie je nezaťahovateľné. Bol postavený v Rakúsku, Kanade a vyvinutý z verzie DA 20. Lietadlo má pri motore Austro Engine AE 300 maximálnu vzletovú hmotnosť 1310 kg.



Obr. 12 Letún DA 40 [7]

Predný podvozok

DA 40 má pevný predný podvozok so smerovým natáčaným kolesom. Nosnú vzperu podvozku tvorí zváraná oceľová trubka. Na zadnom hornom konci vzpery sa nachádza priečna trubka v ktorej sú uložené hlavné radiálne ložiská. Tieto radiálne ložiská umožňujú aby sa podvozok mohol pohybovať hore a dole. Vpredu, pod pripevňovacími ložiskami je zváraná konzola, ktorá drží spodok elastickej pružinovej súpravy. Horný koniec elastickej sústavy je pripevnený k uloženiu motora. Dolný koniec podvozku tvorí zvislý čap pre vidlicu predného kolesa, ktorý umožňuje otáčanie predného kolesa. Zastavenie umožňuje vychýlenie kolesa na $\pm 30^\circ$. Keď je letún na zemi, podvozok tlačí nahor proti uloženiu motora. Keď letún letí, podvozok sa tlačí smerom od motora.



Obr. 13 Pristávacie zariadenie DA 40 [8]

Ložiskové čapy tlačia nahor proti prednému trupu. Radiálne ložiská v trupe udržiavajú vzperu predného podvozku zarovnanú s pozdĺžnou osou symetrie letúnu. Bočné zaťaženie predného kolesa spôsobí jeho vychýlenie. Tuhosť (trenie riadenia) čapu vidlice predného kolesa je možné nastaviť pomocou upevňovacej skrutky vidlice predného kolesa. Tým sa zabráni kmitaniu predného kolesa. [7], [8]

5.2 Vulcanair V1.0

Popis letúnu

Vulcanair V1.0 je jednomotorový štvormiestny hornoplošník vyrábaný v Taliansku. Krídlo je obdĺžnikového pôdorysu so vzperami. Trup je vyrobený z nosníkovej ocelevej konštrukcie. Trojkolový podvozok je pevný (nezaťahovateľný). Maximálna vzletová hmotnosť činí 1155 kg.



Obr. 14 Vulcanair V1.0 [9]

Predný podvozok

Ako je možné si všimnúť z Obr.14 Vulcanair V1.0 disponuje teleskopickým podvozkom ktorý využíva hydraulický tlmič uložený priamo v ose podvozku. Osa kolesa je pevne spojená s piestnicou a koná s ňou translačný pohyb. Pre zamedzenie samovoľného otáčania okolo osi podvozku je podvozok vybavený tzv. nožnicovým mechanizmom. Tento mechanizmus spojuje tlmič podvozku a podvozkovú nohu a zároveň umožňuje posuvný pohyb v smere osi tlmiča.



Obr. 15 Zástavba podvozku Vulcanair V1.0 [9]

Z Obr. 15 si môžeme všimnúť že teleskopický podvozok je zintegrovaný do konštrukcie trupu pomocou zástavby do motorového lôže. Červeným krúžkom sú na obrázku zobrazené uzly uchytenia podvozku. [9]

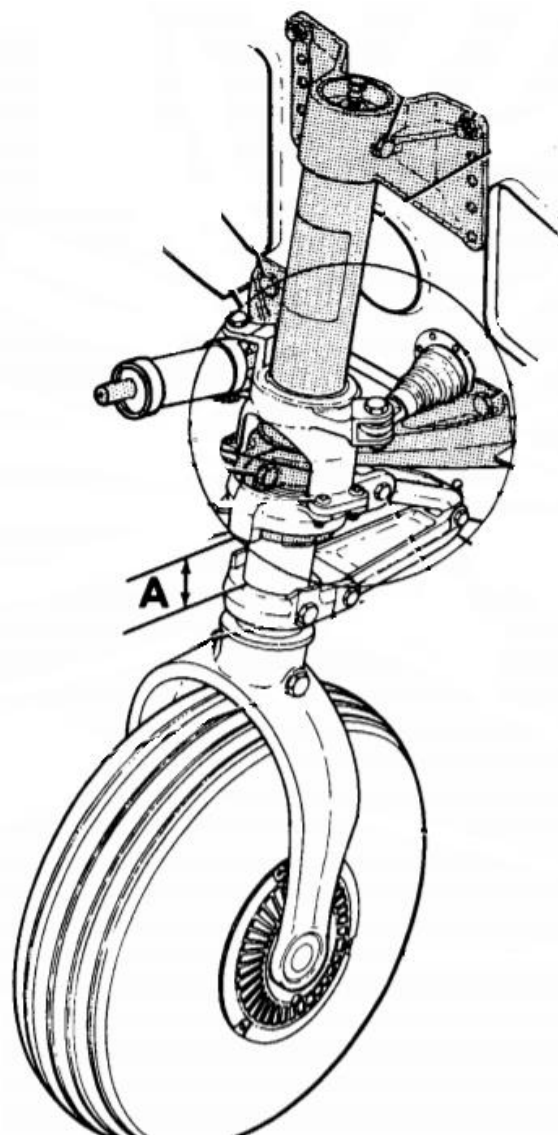
5.3 Cessna 182 skylane

Popis letúnu

Model lietadla 182 skylane pre štyroch cestujúcich je hornoplošného usporiadania. Letún sa skladá z celokovovej nosníkovej a pološkrupinovej konštrukcie. Lietadlo disponuje motorovou jednotkou Lycoming IO-540-AB1A5 o výkone 230 koní. Pri danej konfigurácii má letún maximálnu vzletovú hmotnosť 1406 kg. Podvozok je trojkolový nezaťahovateľný. Jedná sa o jedno z najobľúbenejších a najpredávanejších letúnov z general aviation.

Predný podvozok

Predný podvozok letúnu tvorí teleskopický podvozok ktorý sa skladá z hydro-pneumatického tlmiča na ktorom je pripevnená vidlica. Obdobne ako pri predchádzajúcom letúne je podvozok vybavený nožnicovým mechanizmom. Pre tlmenie vonkajších kmitov má podvozok zabudovaný tzv. shimmy tlmič. Pristávacie zariadenie je riadené pedálmi smerového kormidla až do maximálneho vychýlenia pedálu, ktoré umožňuje vychýlku 30° do oboch strán. Na Obr. 16 si môžeme všimnúť jednotlivé časti podvozku a spôsob zástavby podvozku do prepážky. [10]



Obr. 16 Zástavba predného podvozku Cessna 182 skylane [10]

5.4 VUT 100 Cobra

Popis letúnu

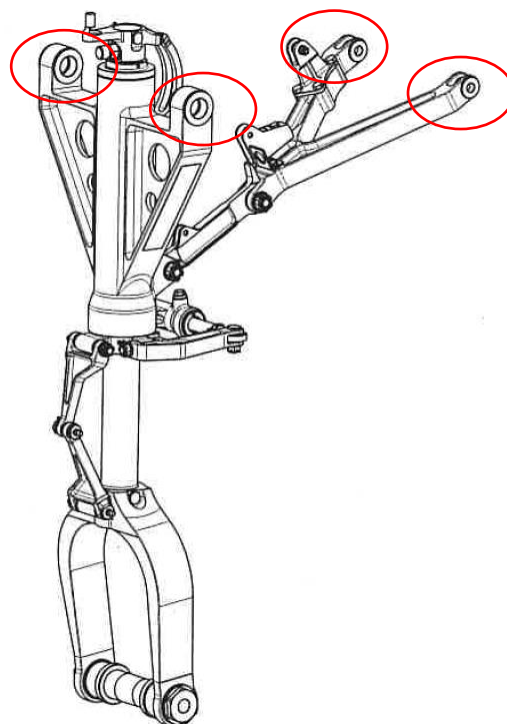
Výrobu lietadla zastrešuje Česká firma Evektor -Aerotechnik. Letún bol vyvíjaný v konzorcií firiem pod vedením Leteckého ústavu a hlavným konštruktérom letúnu bol Prof. Antonín Píštěk. VUT 100 je štvormiestny hybridný letún skladajúci sa z kompozitových a kovových materiálov. Letún disponuje trojkolesovým zaťahovacím podvozkom . Pri pohonnej jednotke Lycoming IP-580-B1A dosahuje maximálnu vzletovú hmotnosť 1450 kg.



Obr. 17 VUT 100 cobra [11]

Predný podvozok

VUT 100 disponuje zaťahovacím teleskopickým podvozkom. Podvozok sa zaťahuje smerom do zadu a skladá sa z nohy a zalamovacej vzpery. Noha sa skladá z dolnej časti z vidlice a piestu na ktorú sa upevňuje koleso a z hornej časti podvozku, ktorá pozostáva z piestnice a hlavy. Podvozok je vybavený pre prenos krútiaceho momentu nožnicovým mechanizmom. Pre tlmenie bočných kmitov je podvozok vybavený shimmy tlmícom. Hmotnosť predného podvozku aj s kolesom činí 15,8 kg. Podvozok sa upevňuje na konštrukciu pomocou hlavy na závesy, ktoré sú súčasťou motorového lože . Na Obr.18 si môžeme všimnúť predný podvozok VUT 100 v ktorom sú červenými krúžkami znázornené jednotlivé body uchytenia. [11],[12]



Obr. 18 Predný podvozok VUT 100 [12]

6. Výber podvozku

V predchádzajúcej kapitole boli popísané predné podvozky letúnov s hmotnosťou príbuznou Z143Lsi . V kapitole č. 5 bolo možné si všimnúť že každý letún mal spôsob tlmenia a zástavby veľmi odlišný. Pri výbere vhodného podvozku boli zvažované aj iné 4 miestne letúny ako napríklad Cirrus SR 20 , Piper archer DX , Tecnam P2010 ,Cessna TTx. Pri výbere podvozku zohráva veľkú rolu možný spôsob zástavby do pôvodných závesových bodov konštrukcie. Následne je veľmi dôležité aby mal nový podvozok veľmi podobné tlmiace charakteristiky ako pôvodný tlmič.

Po konzultácii s vedúcim práce bola **zvolená** varianta zástavby predného podvozku z letúnu **VUT 100 Cobra**. Podvozok má obdobne ako pôvodný návrh, hydro-pneumatický tlmič a z hľadiska zástavby a veľkosti podvozku sa v porovnaní s ostatnými podvozkami ukázal ako najlepšia varianta. Podvozok VUT 100 je sklopný z čoho vyplýva že sa vyskytuje možnosť návrhu sklopného aj pevného podvozku . Z dôvodu použitia nožnicového mechanizmu by sa mala v porovnaní s pôvodným mechanizmom ušetriť hmotnosť a pri menšom priemere piestu znížiť aerodynamický odpor. Pri predbežnom započítaní novej zástavby v ktorej nebude zakomponovaný saxofón by sa mohlo dosiahnuť hmotnostných úspor bez kvantifikácie.

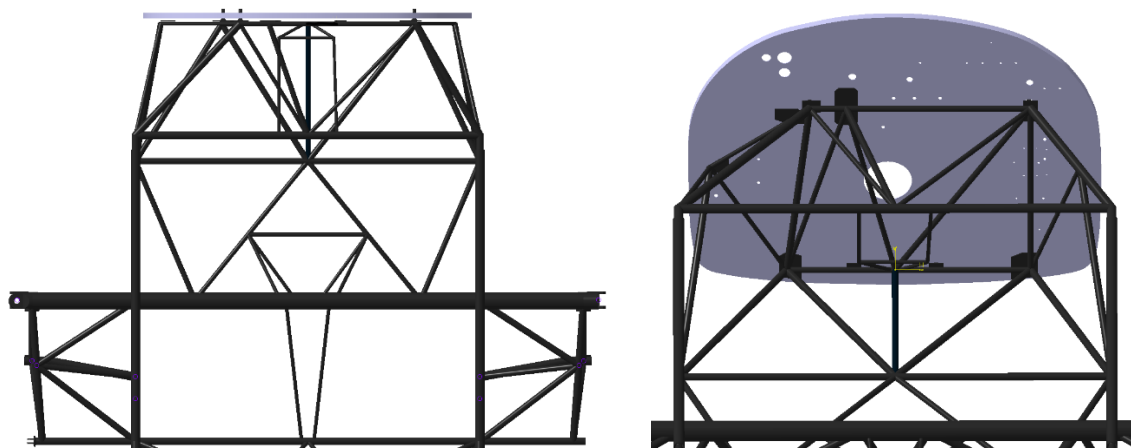
6.1 Pevnostné posúdenie podvozku

Podvozok VUT 100 je navrhnutý pre letún typu VUT 100-131i ktorý má maximálnu vzletovú hmotnosť 1450 kg, keďže Z 143 LSI má max. vzletovú hmotnosť 1350 kg môžeme považovať že tento podvozok je z hľadiska pevnosti vyhovujúci. Podvozok bol pre letún certifikovaný podľa predpisu CS-23.

7. Návrh zástavby predného podvozku

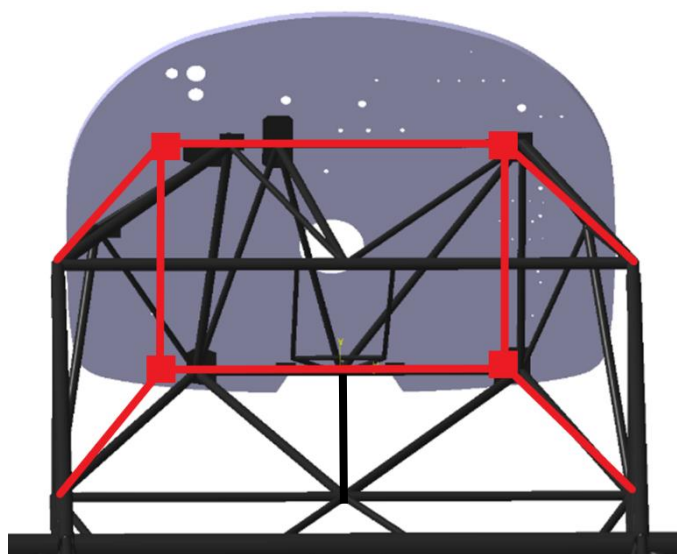
7.1.1 Varianta 1 : Zástavba podvozku VUT 100 do osi symetrie

Pri tejto variante by sa jednalo o zástavbu podvozku VUT 100 do letúnov rady Zlín 40 s návrhom nových závesných bodov na konštrukcii trupu . Jednalo by sa aj o nutnú zmenu v prednej časti priehradovej konštrukcii trupu.



Obr. 19 Priehradová konštrukcia trupu s protipožiarnou prepážkou letúnu Z 143Lsi GENIUS

Ako si môžeme všimnúť z Obr. 19 pôvodné závesové body motorového lôže a predného podvozku nie su symetrické k longitudiálnej ose letúnu. Ako už bolo spomínané v kapitole 3.1 z dôvodu veľkého motora bolo nutné podvozok a polohu motora vyosiť . Pri počítaní s menším motorom TEXTRON Lycoming IO-540-C4D5 ktorý sa po modernizácii používa, by sa závesové body motora a podvozku mohli umiestniť symetricky k longitudiálnej ose letúnu a tým pádom by sa aj podvozok posunul do osi symetrie. Na nasledujúcom Obr. 20 môžeme pre lepšiu predstavu vidieť posuv závesových bodov motora, podvozku ktoré sú označené červenou farbou.



Obr. 20 Posun Závesových bodov motora

Ako **hlavnou výhodou** tejto konfigurácie by bolo súmerne rozloženie hmotnosti z čoho vyplýva symetrické namáhanie jednotlivých častí letúnu a následne pri novej zástavbe predného podvozku aj nižšia hmotnosť a náročnosť výroby.

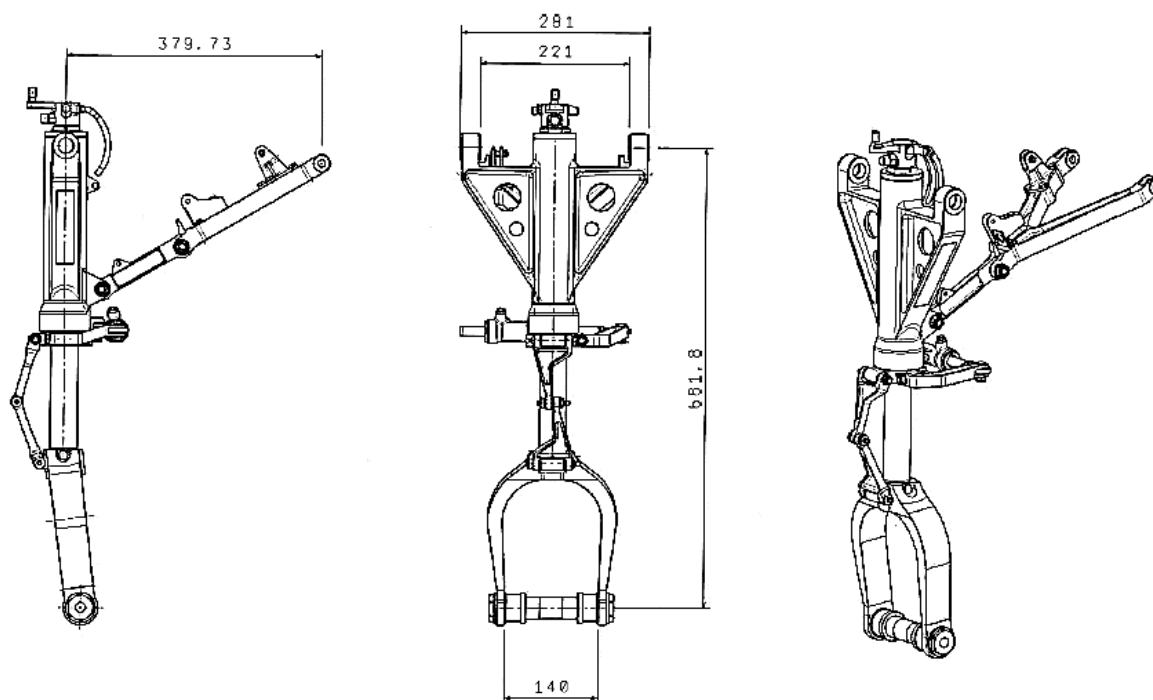
Hlavnou nevýhodou tohoto návrhu je vysoká finančná náročnosť a to z dôvodu nutnosti prerobenia prednej časti priehradovej konštrukcie, návrhu novej zástavby podvozku a motorového lôže. Nutné je následne zahrnúť aj vysokú finančnú čiastku a čas ktorý by bol potrebný na certifikáciu modifikovaných dielov.

7.1.2 Varianta 2 : Uchytenie predného podvozku VUT 100 na motorové lôže

Ako **druhou** variantnou možnosťou modernizácie sa núka uchytenie predného podvozku letúnu VUT 100 na motorové lôže obdobne ako je to riešené na VUT 100 . Pri tomto prípade je možné zvážiť dva návrhy :

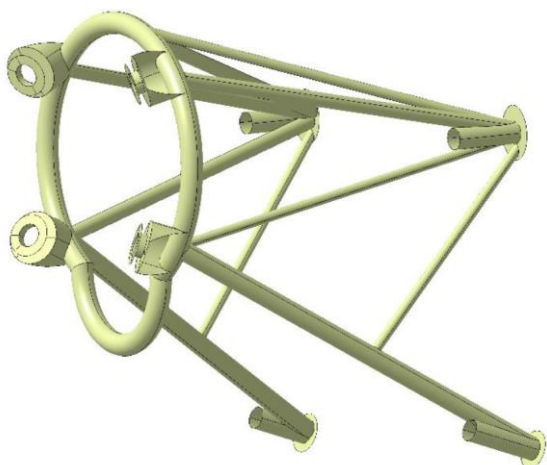
- Zaťahovací podvozok
- Pevný podvozok

Pre obidva návrhy sa musí modifikovať motorové lôže . Návrhom pre zaťahovací podvozok sa už zaoberala iná diplomová práca [13] a preto bude táto možnosť iba znázornená. Na nasledujúcom Obr. 21 je zobrazená základná geometria podvozku VUT 100.

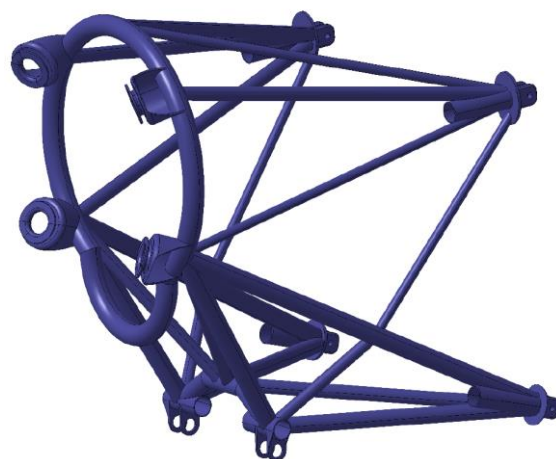


Obr. 21 Geometria podvozku VUT 100 [12]

Na Obr. 22 a 23 je zobrazené pôvodné a modifikované motorové lôže pre zástavbu.

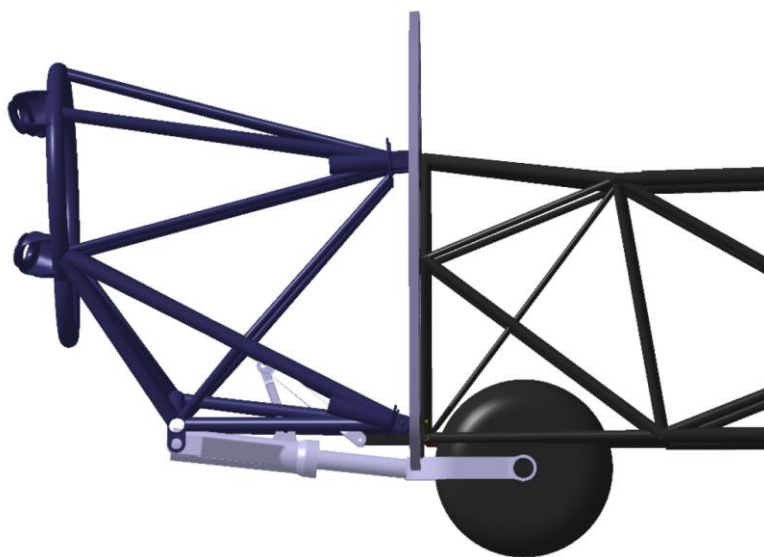


Obr. 22 Aktuálne motorové lôže Z 143 [5]



Obr. 23 Modifikované motorové lôže na podvozok VUT 100 [13]

Daný návrh zaťahovacieho predného podvozku je v porovnaní s predchádzajúcou variantou návrhu oveľa prijateľnejší a to z dôvodu nutnosti menšieho zásahu do pôvodnej konštrukcie letúnu . Pre danú variantu by bolo nutné vytvoriť relatívne malý výrez do protipožiarnej prepážky a následne odstránenie jedného prútu priehradovej konštrukcie. Samozrejme je nutné započítať aj modifikáciu lôže. Na Obr. 24 je znázornenie zatiahnutia podvozku.



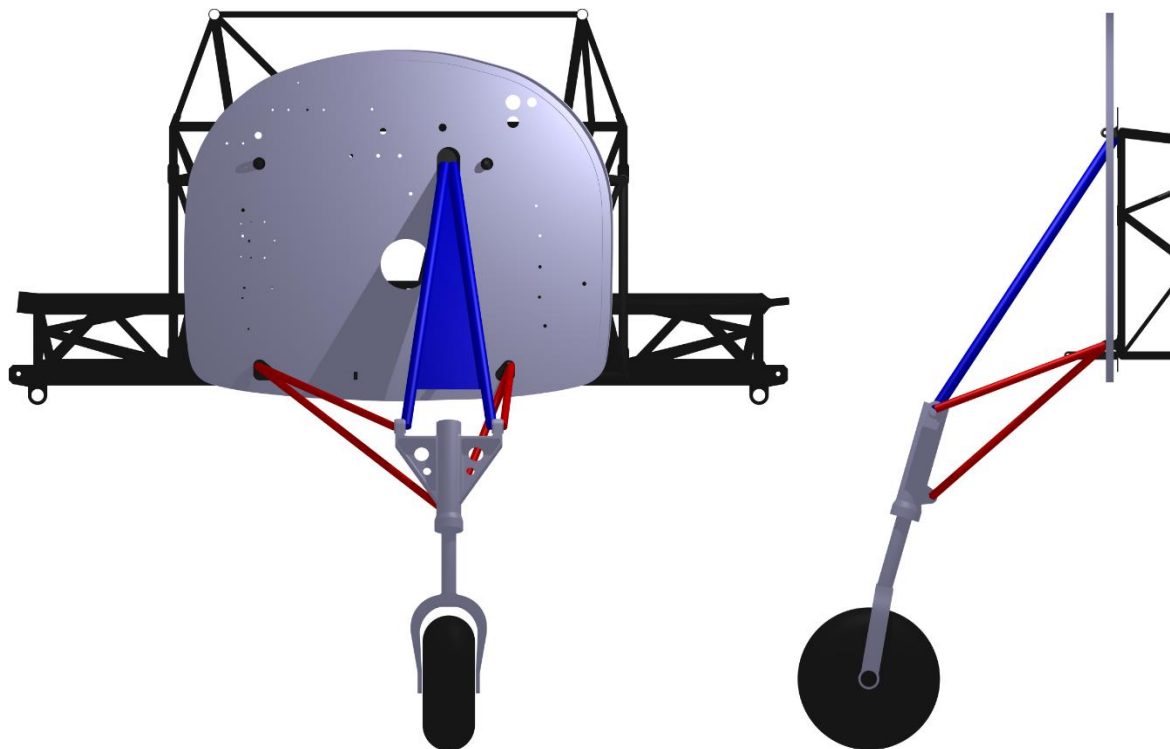
Obr. 24 Ukážka zatiahnutého podvozku VUT 100 na modifikovanom motorovom lôži. [13]

Veľká **výhoda návrhu** zaťahovacieho podvozku je celkové zníženie odporu letúnu z čoho vyplýva zvýšenie cestovnej rýchlosti . Tento návrh má význam len pri komplexnom riešení zaťahovacieho podvozku vrátane hlavného podvozku.

Ako **nevýhodou** tohoto návrhu je obdobne ako v predchádzajúcom, finančná náročnosť a to primárne z dôvodu nutnosti návrhu hlavného zaťahovacieho podvozku ktorý by mohol byť upevnený na konštrukcii rámu so zaťahovaním do trupu alebo ako druhá možnosť upevnenia na konštrukciu rámu so zaťahovaním do krídla. Pre obidve konfigurácie by bol nutný veľký zásah či už do priehradovej konštrukcie centroplánu alebo do krídla.

7.1.3 Varianta 3 : Zástavba podvozku VUT 100 do pôvodných závesových bodov

Ako **tretou** variantou je možnosť zástavby podvozku do pôvodných závesov. Pozícia nového podvozku zostane v porovnaní s pôvodným nezmenená. To znamená že rozvor kolies, uhol podvozku a posun osi podvozku vzhľadom k pozdĺžnej osi letúnu zostane rovnaký. Na nasledujúcom Obr.25 je znázornený spôsob zástavby.



Obr. 25 Zástavba podvozku VUT 100

Pri tomto návrhu sa z podvozku odstráni zalamovacia vzpera a podvozok sa uchyťí na pevno.

Výhodou tohoto návrhu je v porovnaní s predchádzajúcimi finančná nenáročnosť . Keďže sa podvozok upevní do pôvodných závesových bodov nie je nutné modernizovať konštrukciu trupu ani motorové lôže . Z čoho vyplýva že po zrealizovaní tohoto návrhu bude nutné certifikovať iba novú zástavbu podvozku.

7.1.4 Výber zástavby predného podvozku

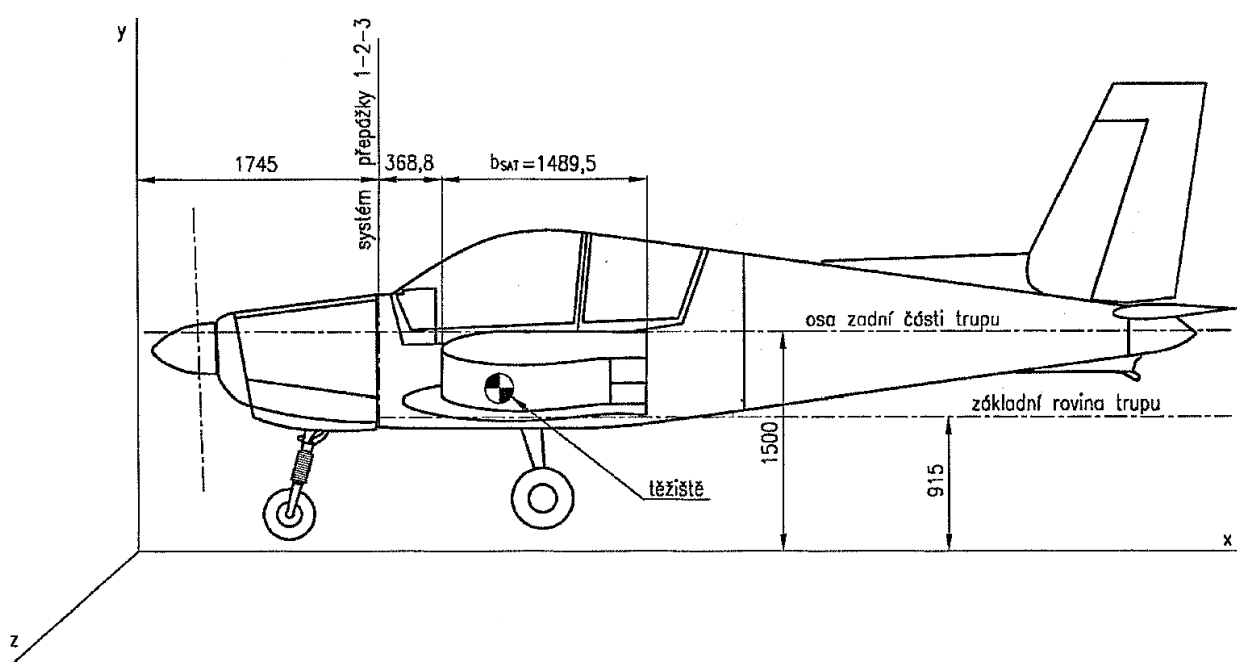
Po zohľadnení všetkých troch možností bola vybratá varianta číslo 3, zástavba podvozku VUT 100 do pôvodných závesových bodov. Táto možnosť sa javí z hľadiska finančného, výrobného a certifikačného hľadiska najlepšie.

8. Hmotový rozbor

Hlavným dôvodom počítania hmotnostného rozboru je v našom prípade nutnosť vedomosti predbežného rozloženia centrží v hmotnostnej obálke pre neskoršie výpočty zaťaženia pristávacieho zariadenia a následného pevnostného výpočtu modelu pomocou metódy konečných prvkov (MKP).

Rozbor vychádza z pôvodného rozboru hmotností a centrží letúnu Z 143 L vypracovaného spoločnosťou Zlín Aircraft z roku 2000 pre preukázanie spôsobilosti letúnu Z 143 L podľa predpisu FAR 23.

Pre výpočet a prehľadnosť bol použitý obdobný súradnicový systém ako v pôvodnom výpočtovom dokumente spoločnosti.



Obr. 26 Súradnicový systém pre výpočet centrží [5]

8.1 Rozbor hmotností

Ako už bolo spomenuté v predchádzajúcej kapitole jeden z hlavných dôvodov použitia podvozku VUT 100 s uchytením do pôvodných závesov je jeho minimálna nutnosť zásahu do ostatných častí letúnu. Z toho dôvodu by táto modernizácia nemala mať markantný vplyv na zmenu centrže a daný výpočet by mal byť relatívne presný a podobný pôvodnej centrži.

Použité dáta (primárne hmotnosti jednotlivých prvkov a ich ťažiská) pochádzajú z interných dokumentov spoločnosti Technometra Radotín, s.r.o [12] a Zlín Aircraft [5].

Tab. 5- Sùhrn hmotností hlavných častí letúnu

| SÚHRN SPOLOČNÝCH ČASTÍ | | | | | | |
|------------------------|--------------------------|---------------|------------|----------------|----------------|----------------|
| Porad. č. | Názov | Pôvodná hmot. | Nová hmot. | x _T | y _T | z _T |
| | | [kg] | [kg] | [m] | [m] | [m] |
| 1 | Trup | 184,966 | 184,966 | 3,164 | 1,263 | 0 |
| 2 | Krídlo | 128,288 | 128,288 | 2,793 | 1,129 | 0,031 |
| 3 | Chvostové plochy | 24,185 | 24,185 | 7,083 | 1,875 | 0 |
| 4 | Riadenie | 18,19 | 18,19 | 2,975 | 1,101 | 0 |
| 5 | Pristávacie zariadenie | 71,789 | 69,98 | 2,430 | 0,614 | 0,033 |
| 6 | Zástavba motora | 259,65 | 259,65 | 1,067 | 1,358 | 0,024 |
| 7 | Inštalácie | 31,32 | 31,32 | 2,516 | 1,274 | 0 |
| 8 | Výstroj | 102,43 | 102,43 | 2,251 | 1,382 | -0,068 |
| 9 | Náter | 22 | 22 | 3,748 | 1,426 | 0 |
| | | | | | | |
| | Σ | 842,818 | 841,009 | | | |
| | Výsledné hodnoty ťažiska | | | 2,387 | 1,251 | 0,007 |

V Tab. 5 sa nachádzajú jednotlivé časti letúnu ku ktorým sú priradené pôvodné a nové hmotnosti. Môžeme si všimnúť, že jediná zmena hmotnosti nastala pri pristávacom zariadení a ostatné časti letúnu zostali nedotknuté. Následne sa v tabuľke nachádzajú súradnice ťažiska, ktoré sú priradené a počítané k novým predpokladaným hmotnostiam.

Tab. 6-Sùhrn hmotností pristávacieho zariadenia

| Spoločné časti : PRISTÁVACIE ZARIADENIE | | | | | | |
|---|--------------------------|---------------|------------|----------------|----------------|----------------|
| Porad. č. | Názov | Pôvodná hmot. | Nová hmot. | x _T | y _T | z _T |
| | | [kg] | [kg] | [m] | [m] | [m] |
| 1 | Hlavný podvozok L | 25,115 | 25,115 | 2,85 | 0,595 | 0,985 |
| 2 | Hlavný podvozok P | 25,115 | 25,115 | 2,85 | 0,595 | -0,985 |
| 3 | Predný podvozok | 19,459 | 17,65 | 1,245 | 0,624 | 0,13 |
| 4 | Ovládanie bŕzd L | 1,05 | 1,05 | 2,345 | 0,97 | 0,65 |
| 5 | Ovládanie bŕzd P | 1,05 | 1,05 | 2,345 | 0,97 | -0,65 |
| | | | | | | |
| | Σ | 71,789 | 69,98 | | | |
| | Výsledné hodnoty ťažiska | 71,789 | 69,98 | 2,430 | 0,614 | 0,033 |

V tabuľke pre pristávacie zariadenie bola vzhľadom k pôvodnej hmotnosti podvozku zahrnutá nová hodnota predného pristávacieho zariadenia z VUT 100 o hmotnosti 15,8 kg. Z tejto hmotnosti bola odčítaná hmotnosť 2,35 kg ktorú predstavovala sklápacia časť podvozku. Následne bola pripočítaná predpokladaná hmotnosť zástavby 4,2 kg. Vďaka tomu by sa hmotnosť predného podvozku mala znížiť o 1,809 kg. Keďže poloha nového podvozku je skoro identická s polohou pôvodného podvozku, použijeme pre počiatočný výpočet pôvodné hodnoty ťažiska podvozku.

8.2 Prázdna hmotnosť

Firma Zlín Aircraft dáva možnosť zakúpiť si letún Z Lsi GENIUS a teda ho aj prevádzkovať v dvoch variantách a to v kategórii NORMAL a UTILITY(CVIČNÁ).

Tab. 7 - Hmotnosť pri vzlete a pristáti pre danú kategóriu

| Trieda | Maximálna hmotnosť [kg] | |
|----------------|-------------------------|-------------|
| | Vzletová | Pristávacia |
| NORMAL | 1350 | 1280 |
| UTILITY | 1080 | 1080 |

Kategória UTILITY sa od kategórie NORMAL odlišuje tým že sú z letúnu odobraté zadné sedadlá s pásmi. Tým pádom sa lietadlo mení zo 4 miestneho na 2 miestny stroj. Vďaka tomu je prázdna hmotnosť tejto kategórie nižšia a so zvýšeným násobkom na 4,4 umožňuje tzv. pozitívnu akrobáciu, nácvik akrobatických prvkov.

Tab. 8 - Prázdna hmotnosť kategória NORMAL

| PRÁZDNA HMOTNOSŤ č.1 NORMAL | | | | | | |
|-----------------------------|--------------------------|---------------|------------|----------------|----------------|----------------|
| Porad. č. | Názov | Pôvodná hmot. | Nová hmot. | x _T | y _T | z _T |
| | | [kg] | [kg] | [m] | [m] | [m] |
| 1 | Zadné sedadlá s pásmi | 17 | 17 | 3,612 | 1,306 | 0 |
| 2 | Súhrn spoločných častí | 842,818 | 841,009 | 2,387 | 1,251 | 0,007 |
| | | | | | | |
| | Σ | 859,818 | 858,009 | | | |
| | Výsledné hodnoty ťažiska | | | 2,412 | 1,252 | 0,006 |

Prázdna hmotnosť letúnu kategórie NORMAL je v súčte 858,009 kg a ťažisko v smere osi x sa nachádza vo vzdialenosti 2,412 m čo pri prepočítaní na bezrozmerovú polohu voči strednej aerodynamickej tetive vychádza 20,00 %C_{SAT}.

Tab. 9 - Prázdna hmotnosť kategória UTILITY

| PRÁZDNA HMOTNOSŤ č.2 UTILITY | | | | | | |
|------------------------------|--------------------------|---------------|------------|----------------|----------------|----------------|
| Porad. č. | Názov | Pôvodná hmot. | Nová hmot. | x _T | y _T | z _T |
| | | [kg] | [kg] | [m] | [m] | [m] |
| 1 | Bez zadných sedadiel | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| 2 | Súhrn spoločných častí | 842,818 | 841,009 | 2,387 | 1,251 | 0,007 |
| | | | | | | |
| | Σ | 842,818 | 841,009 | | | |
| | Výsledné hodnoty ťažiska | | | 2,387 | 1,251 | 0,007 |

Prázdna hmotnosť letúnu kategórie UTILITY je v súčte 841,009 kg a ťažisko v smere osi x sa nachádza vo vzdialenosti 2,387 m čo pri prepočítaní na bezrozmerovú polohu voči strednej aerodynamickej tetive vychádza 18,37 % C_{SAT} .

8.3 Výpočet centráže

Výpočet centráže bol uskutočnený pre kategóriu UTILITY a kategóriu NORMAL. Do výpočtu centráže bola zahrnutá hmotnosť pilotov od 60 kg - najnižšia hmotnosť do 100 kg - najvyššia hmotnosť v prípadoch pre posunutie sedadiel úplne dopredu a úplne dozadu. Ďalej bola do výpočtu započítaná hmotnosť batožiny od 10 do 60 kg a premenná hmotnosť paliva v hlavnej nádrži od 28l do 120l. Následne pre kategóriu NORMAL boli do výpočtu ešte zahrnuté prídavné nádrže a pasažieri.

Jednotlivé hmotnosti a ich polohy ťažiska sú vypísané v prílohe A.

8.3.1 Výpočet polohy ťažiska

Výpočet polohy ťažiska je počítaný za pomoci vzorcov :

$$x_T = \frac{\sum m_i \cdot x_i}{\sum m_i} \quad [m] \quad (1)$$

$$x_{T\%SAT} = \frac{x_T - x_{SAT}}{C_{SAT}} \cdot 100 \quad [\%] \quad (2)$$

x_T - poloha ťažiska danej konfigurácie [m]

m_i - hmotnosť daného prvku [kg]

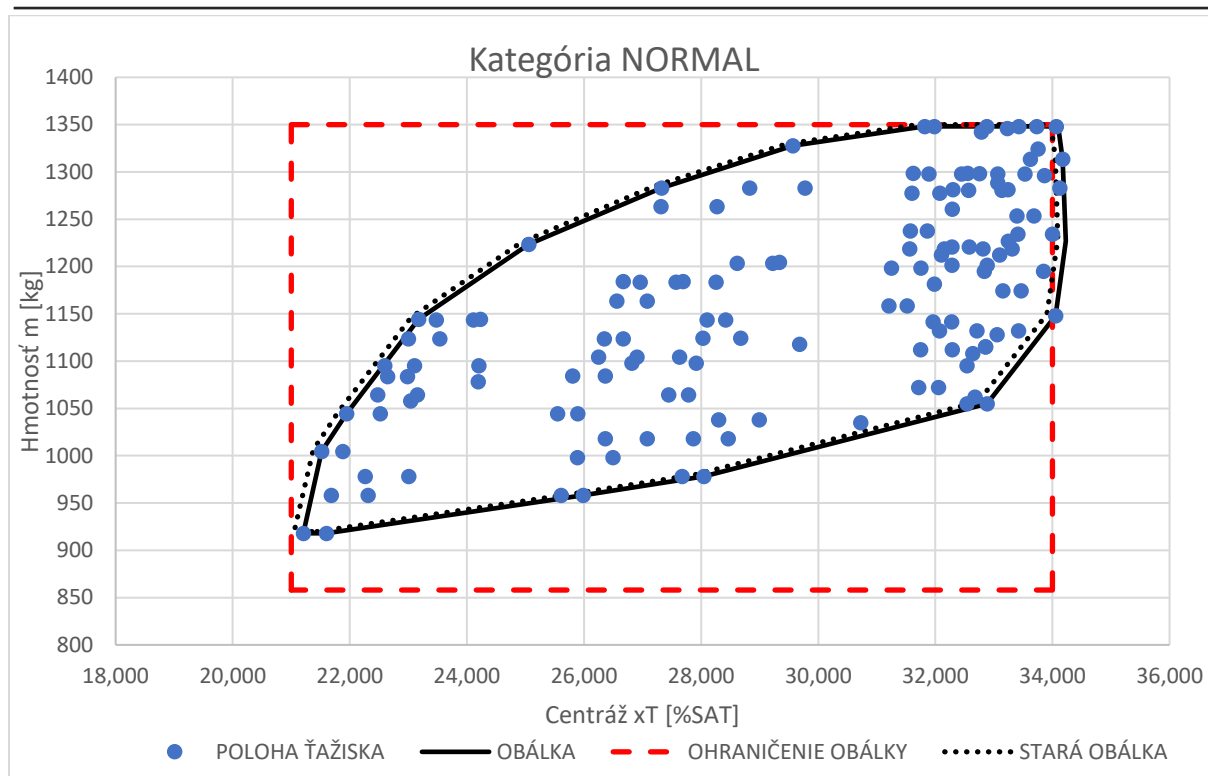
x_i - poloha ťažiska daného prvku [m]

C_{SAT} - stredná aerodynamická tetiva [m]

$x_{T\%SAT}$ - poloha ťažiska voči C_{SAT} [%]

8.3.2 Hmotnostná obálka

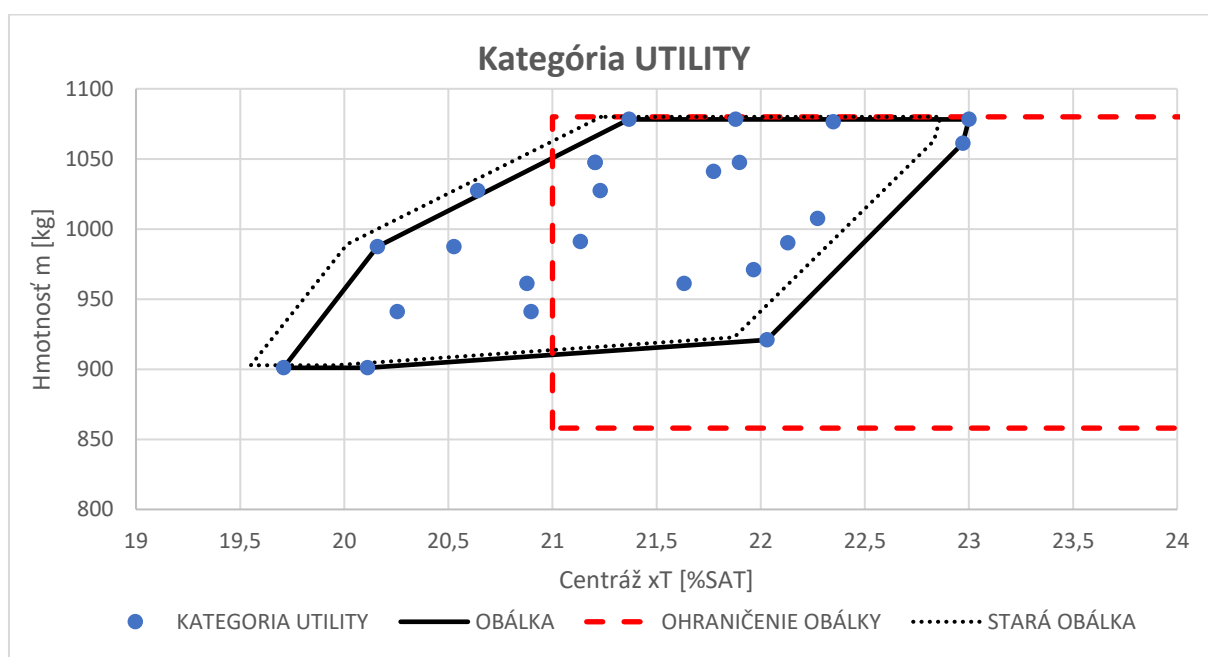
Po vypočítaní všetkých konfigurácií boli jednotlivé polohy centrží vložené do grafu z ktorého nám vznikla tzv. hmotnostná obálka. Hmotnostná obálka bola vypočítaná pre obidve kategórie.



Obr. 27 Hmotnostná obálka kategória NORMAL

Na Obr. 27 je zobrazená obálka ktorá sa skladá zo 155 hmotnostných konfigurácií ktoré sú označené modrými bodkami, jednotlivé konfigurácie sa nachádzajú v prílohe A. Následne čiernou čiarou je vykreslené nové ohraničenie obálky. Pre lepšie porovnanie je do hmotnostného rozboru vykreslená pôvodná obálka ktorá je označená bodkovanou čiarou. Červenou prerušovanou čiarou je vykreslené ohraničenie od 21 do 34 % C_{SAT} ktoré je stanovené z letovej príručky. Z hore je obálka ohraničená maximálnou vzletovou hmotnosťou danej kategórie, čiže 1350 kg a z dola prázdnu hmotnosť letúnu.

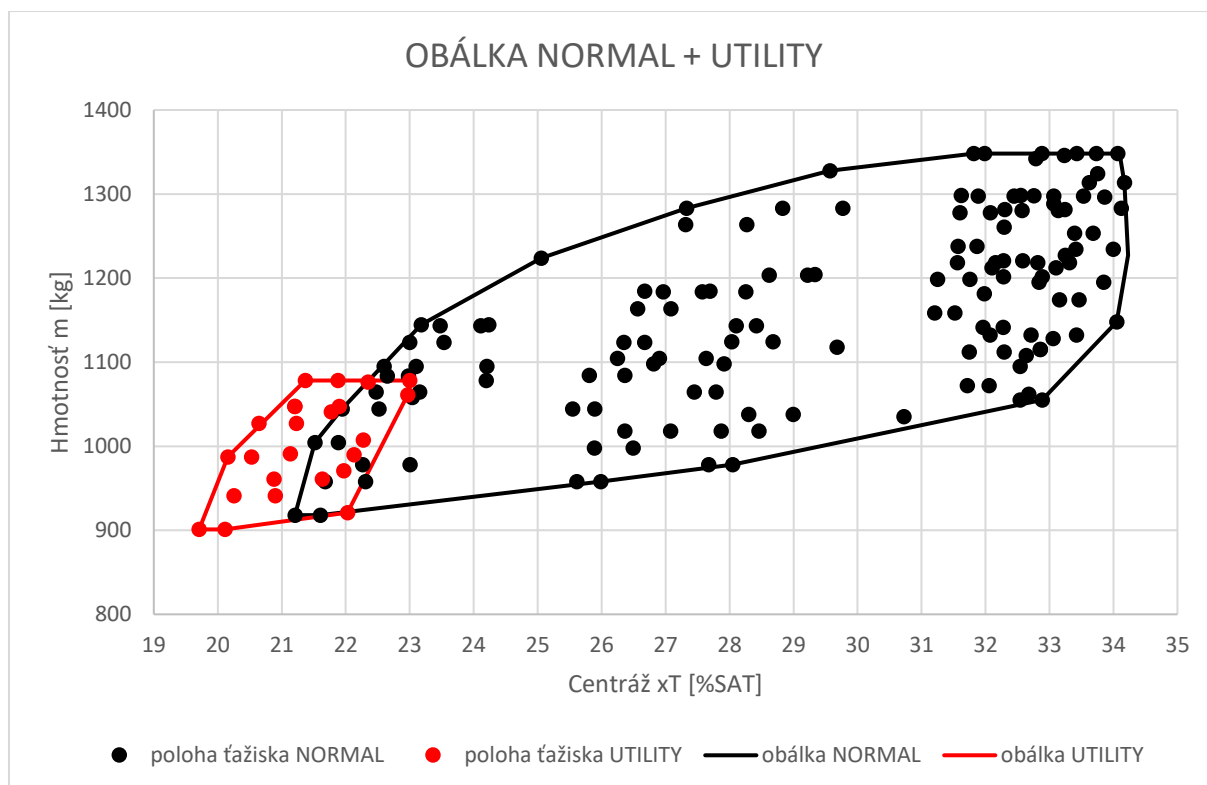
Z vykresleného grafu vyplýva že nová obálka je takmer identická s pôvodnou obálkou letúnu.



Obr. 28 Hmotnostná obálka kategória UTILITY

Pre kategóriu UTILITY bolo vypočítaných 24 kritických hmotnostných konfigurácií. Obdobne ako v kategórii NORMAL sa obálka skoro nezmenila. Z grafu je možné si všimnúť že celá obálka sa posunula približne o $0,2 \% C_{SAT}$ smerom doprava čo môžeme považovať za zanedbateľnú ale zároveň kladnú zmenu. Ďalej z grafu vychádza že niektoré konfigurácie sa nachádzajú pred hranicou povolenej prednej centráže. Konkrétne sa jedná o bod U1 s najväčšou prednou centrážou o hodnote $19,71 \% C_{SAT}$ ktorý platí pre prázdnu hmotnosť letúnu s jedným pilotom o hmotnosti 60 kg ktorý je posunutý na medznú prednú polohu sedadla.

Na nasledujúcom Obr.29 je pre porovnanie znázornená hmotnostná obálka kategórie NORMAL + UTILITY.



Obr. 29 Porovnanie obálky NORMAL a UTILITY

9. Zat'azenia pristavacieho zariadenia

Podstatou výpočtu je určenie zat'azenia pristavacieho zariadenia Zlín Z143 Lsi podľa predpisu CS-23 [14]. Pod pojmom zat'azenie si môžeme predstaviť energiu pri pristávaní, nárazové sily, translačné a rotačné násobky letúnu. Tieto hodnoty nám budú slúžiť ako vstupné dáta pre určenie priebehu zat'azenia a pre určenie veľkostí síl v jednotlivých uzloch zástavby nového predného podvozku. Výpočet pristávacích prípadov je komplexný vrátane hlavného podvozku, ktorý v našom prípade nehrá dôležitú rolu.

9.1 Výber hmotnostných konfigurácií

Pre výpočet pristavacieho zat'azenia je nutné vybrať z hmotnostnej obálky z kapitoly 8.3.2 kritické konfigurácie pri ktorých nastáva najväčšie nárazové zat'azenie podvozku pri pristáti alebo rolovaní na dráhe.

Ako kritické konfigurácie môžeme považovať :

a) Maximálna výpočtová vzletová hmotnosť w_{vzlet}

| | | | |
|----------------|----------------------------------|--------------|-----|
| Predná centráž | $w_{vzlet} = 1348,19 \text{ kg}$ | konfigurácia | 80N |
| Zadná centráž | $w_{vzlet} = 1348,19 \text{ kg}$ | konfigurácia | 92N |

b) Maximálna výpočtová pristávacia hmotnosť w_{prist}

| | | | |
|----------------|----------------------------------|--------------|------|
| Predná centráž | $w_{prist} = 1283,19 \text{ kg}$ | konfigurácia | 155N |
| Zadná centráž | $w_{prist} = 1283,19 \text{ kg}$ | konfigurácia | 148N |

c) Stredná výpočtová pristávacia hmotnosť w_{prist}

| | | | |
|----------------|----------------------------------|--------------|-----|
| Predná centráž | $w_{prist} = 1223,61 \text{ kg}$ | konfigurácia | 83N |
| Predná centráž | $w_{prist} = 1144,41 \text{ kg}$ | konfigurácia | 74N |

d) Minimálna výpočtová pristávacia hmotnosť w_{prist}

| | | | |
|----------------|----------------------------------|--------------|-----|
| Predná centráž | $w_{prist} = 1078,19 \text{ kg}$ | konfigurácia | 15U |
| Predná centráž | $w_{prist} = 991,01 \text{ kg}$ | konfigurácia | 24U |

Ďalšími kritickými konfiguráciami môžeme predpokladať body ktoré majú vysokú hmotnosť a nachádzajú sa v blízkosti ohraničenia obálky letovou príručkou .

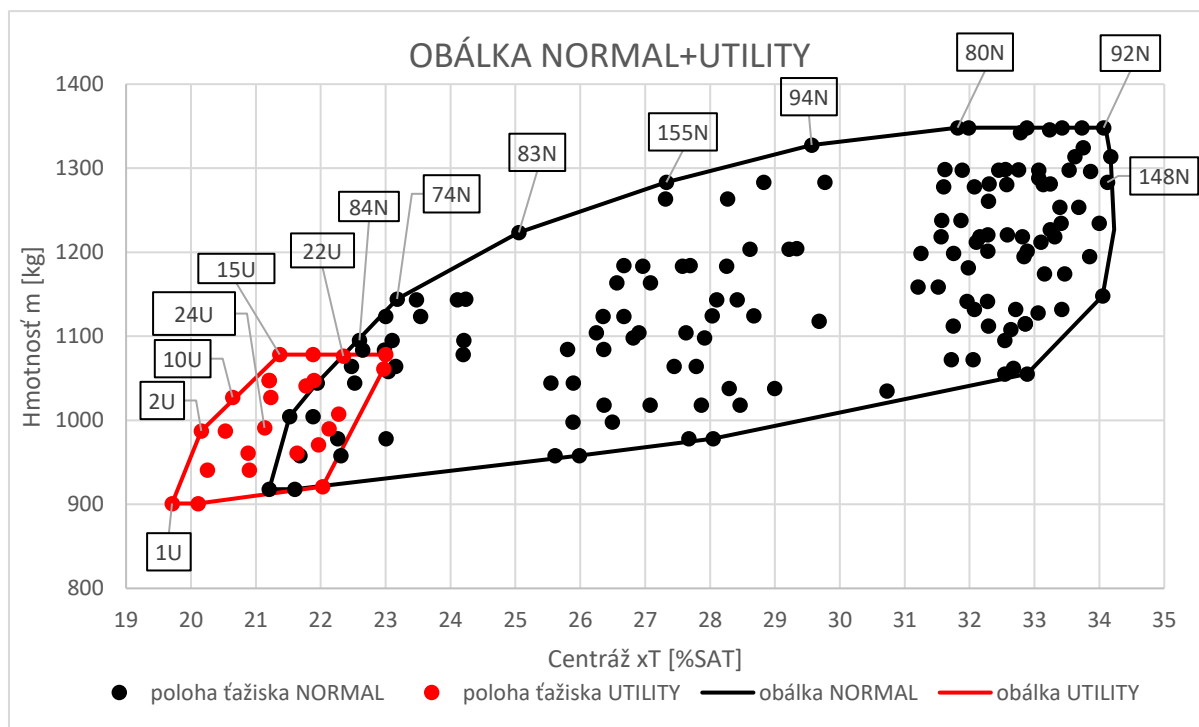
V nasledujúcej tabuľke sú zobrazené kritické konfigurácie a ich poloha ťažiska

Tab. 10 Kritické hmotnostné konfigurácie

| Označenie | Popis konfigur. | Hmotnosť [kg] | x _T [m] | x _T [%C _{SAT}] | y _T [m] | z _T [m] |
|-----------|-----------------|------------------|-----------------------|--|-----------------------|-----------------------|
| 80N | 7+9+11+42 | 1348,191 | 2,588 | 31,815 | 1,309 | 0,004 |
| 92N | 8+9+11+30+38 | 1348,191 | 2,622 | 34,097 | 1,309 | 0,004 |
| 74N | 7+11 | 1144,409 | 2,459 | 23,176 | 1,283 | 0,005 |
| 83N | 8+12 | 1223,609 | 2,487 | 25,054 | 1,288 | 0,005 |
| 148N | 18+44+46 | 1283,191 | 2,622 | 34,122 | 1,311 | 0,004 |
| 155N | 7+12+45 | 1283,191 | 2,521 | 27,326 | 1,297 | 0,018 |
| 15U | 11+36 | 1078,191 | 2,432 | 21,367 | 1,294 | 0,005 |
| 24U | 34 | 991,009 | 2,429 | 21,133 | 1,309 | 0,006 |
| 94N | 7+12+13 | 1327,609 | 2,554 | 29,566 | 1,303 | 0,004 |
| 10U | 3+11 | 1027,409 | 2,421 | 20,640 | 1,263 | 0,031 |
| 2U | 1+11 | 987,409 | 2,414 | 20,158 | 1,254 | 0,022 |
| 1U | 1 | 901,009 | 2,407 | 19,708 | 1,267 | 0,024 |
| 84N | 11+36 | 1095,191 | 2,450 | 22,597 | 1,274 | 0,005 |
| 22U | 11+19 | 1076,459 | 2,447 | 22,347 | 1,273 | 0,005 |

Čísla v popise konfigurácie znázorňujú jednotlivé hmotnosti ktoré sú v danej konfigurácii zahrnuté. Napríklad pre označenie 22U znamená popis 11 + 19 že sa jedná o letún so 120 l paliva v hlavnej nádrži a 2 pilotmi o hmotnosti 75kg sediacimi na sedadlách ktoré sú na maximálnej zadnej polohe posunutia. Jednotlivé konfigurácie sú uvedené v prílohe A.

Na nasledujúcom grafe sú zobrazené kritické konfigurácie ktoré môžu nastať pre kategóriu NORMAL a UTILITY.



Obr. 30 kritické konfigurácie pre kategóriu NORMAL + UTILITY

9.1.1 Parametre podvozku pre výpočet pozemného zaťaženia

Pre výpočet boli odčítané deformácie pneumatiky z grafov pracovných charakteristík pneumatiky pre hlavný a predný podvozok. Grafy pracovných charakteristík pneumatiky, geometria podvozku a dáta z dynamických skúšok podvozku, potrebné pre výpočet boli získané z dát spoločnosti Zlín Aircraft [5].

Tab. 11 – Statické stlačenie pneumatiky [5]

| | Rozmery [mm] | Tlak [at] | Stlačenie [mm] |
|-----------------|-----------------------|-----------|----------------|
| Predný podvozok | $\phi 350 \times 135$ | 2,5 | 23 |
| Hlavný podvozok | $\phi 420 \times 150$ | 2,5 | 34,5 |

Tab. 12 – Stlačenie tlmiacej sústavy (tlmiču) [5]

| | Statické stlačenie [mm] | 25% [mm] | 100% [mm] |
|-----------------|-------------------------|----------|-----------|
| Predný podvozok | 51 | 45 | 181 |
| Hlavný podvozok | 100 | 62 | 247 |

Tab. 13- Vzďialenosť voči súradnicovému systému [5]

| | | Statické stlačenie [mm] | 25% [mm] | 100% [mm] |
|-----------------|---|-------------------------|----------|-----------|
| Predný podvozok | x | 1135 | 1137 | 1172 |
| | y | 300 | 290 | 427 |
| Hlavný podvozok | x | 2870 | 2870 | 2870 |
| | y | 458 | 415 | 600 |

9.1.2 Stanovenie klesajúcej rýchlosti CS 23.473 (d)

Zvolený prevádzkový násobok zaťaženia zvislými zotrvačnými silami v ťažisku letúnu pre podmienky pozemného zaťaženia nesmie byť menší než násobok ktorý by vznikol pri pristátí rýchlosťou klesania v_y ktorá sa vypočíta :

$$v_y = 4,4 \cdot \sqrt[4]{\frac{W}{S_k}} [ft/s] \quad (3)$$

S_k – plocha krídla 159,05 [ft]

W - hmotnosť letúnu [lb]

Rýchlosť klesania nesmie byť väčšia než 3 m/s a nesmie byť menšia než 2,1 m/s.

Výpočet rýchlostí bol prevedený pre jednotlivé kritické konfigurácie a vyšiel v rozmedzí 2,52-2,79 m/s. Výpočet sa nachádza v prílohe B.

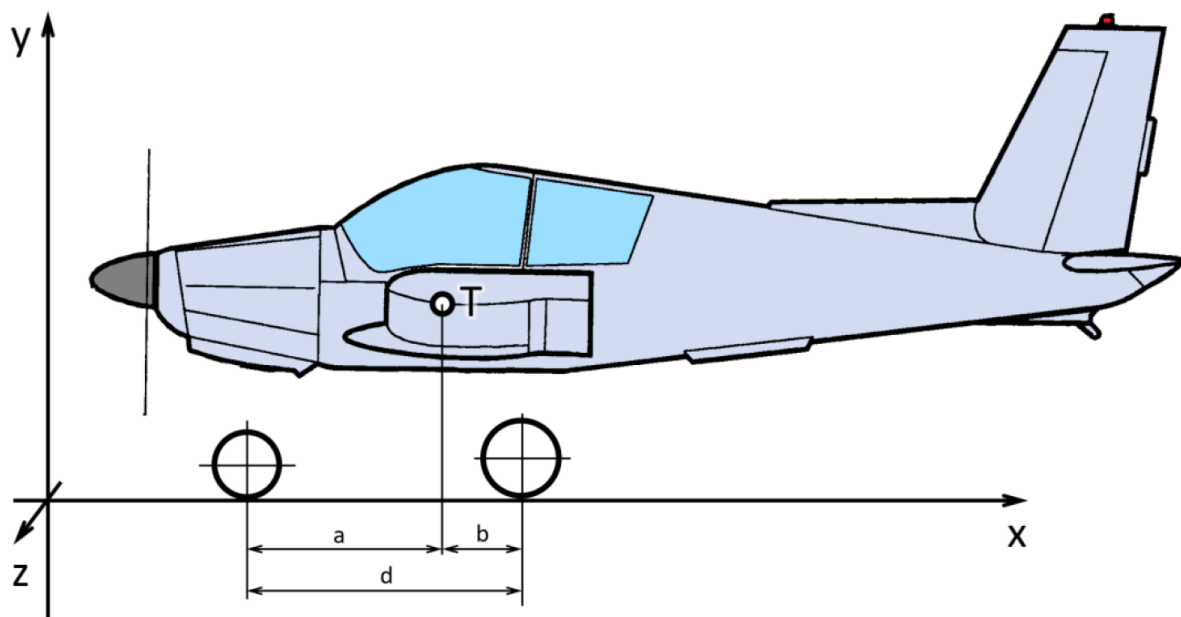
9.2 Prípady zaťaženia

V tejto kapitole budú načrtnuté jednotlivé prípady zaťaženia ktoré môžu nastať počas pristávania . Každý prípad bude mať názorne ukázaný postup výpočtu na základe požiadavky predpisu CS-23 [14]. Prípady zaťaženia sú počítané pre kritické hmotnostné konfigurácie.

Pre výpočet jednotlivých prípadov zaťaženia je použitá rovnaká súradnicová sústava ako pri výpočte centráže letúnu. Kladné smery súradnicového systému sú zobrazené v jednotlivých obrázkoch .

9.2.1 Statické zaťaženie - CS 23.479

Výpočet je prevedený pre hodnoty statického stlačenia predného a hlavného podvozku . Vzďialenosť d na Obr.31 znázorňuje vzďialenosť medzi hlavným a predným podvozkom. Predný podvozok je upevnený pod uhlom 15° z čoho vyplýva že s meniacim sa stlačením tlmiča sa mení aj vzďialenosť d respektíve a . Vzďialenosť b sa mení v závislosti na polohe centráže danej konfigurácie.



Obr. 31 Geometria výpočtu pre výpočet statických reakcií [13]

Sila pôsobiaca na predný podvozok:

$$V_f = W \cdot g \cdot \frac{b}{d} [N] \quad (4)$$

Sila pôsobiaca na hlavný podvozok na jedno koleso :

$$V_r = 0,5 \cdot (W \cdot g - V_f) [N] \quad (5)$$

Hodnoty výpočtu sa nachádzajú v prílohe B.

9.2.2 Vodorovné pristátie CS 23.479

Požiadavky predpisu CS-23

(a) Pre vodorovné pristátie sa predpokladá, že letún bude mať nasledujúce polohy:

(2) Pre typ s predným podvozkom musia byť uvažované 2 polohy.

(i) Kolesá hlavného a predného podvozku dosadajú na zem súčasne.

(ii) Kolesá hlavného podvozku dosadajú na zem, predné koleso je tesne nad zemou

9.2.3 Vodorovné pristátie so sklonenými reakciami CS 23.479 (a)(2)(i)

Požiadavky predpisu CS-23

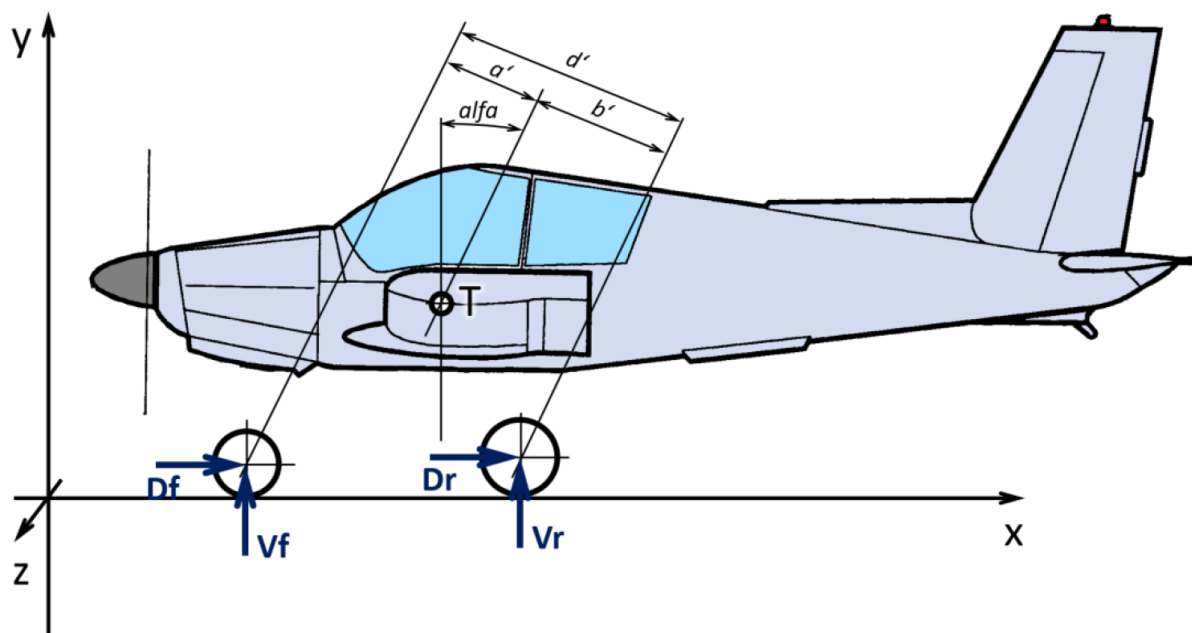
Pre výpočet bolo použité prepérovanie podvozku hlavného a predného na 25% zdvihu. Pneumatiky stlačené staticky.

Pre výpočet uhlu alfa platí :

$$W < 3000 \text{ lbs} \Rightarrow k = 0,25 [-] \quad (6)$$

$$\alpha = \tan^{-1} k = 14^\circ \quad (7)$$

Na Obr.32 je zobrazené vodorovné pristátie so sklonenými reakciami



Obr. 32 Vodorovné pristátie so sklonenými reakciami [13]

Výpočet vzdialeností a' , b' , d' :

$$d' = d \cdot \cos(\alpha) \quad (8)$$

$$b' = [(y_T - y_{HL}) \cdot \tan(\alpha) + (x_T - x_{HL})] \cdot \cos(\alpha) \quad (9)$$

$$a' = d' - b' \quad (10)$$

y_T - poloha ťažiska letúnu

y_{HL} - súradnica hlavného podvozku

x_T - poloha ťažiska letúnu

x_{HL} - súradnica hlavného podvozku

Výpočet redukovanej hmotnosti pre hlavný a predný podvozok :

$$W_{HL} = \frac{W}{2} \cdot \frac{a'}{d'} \quad (11)$$

$$W_{PR} = W \cdot \frac{b'}{d'} \quad (12)$$

Následne je vypočítaná energia ktorá je nutná utlmiť pneumatikami a tlmičmi. Vypočíta sa ako súčet kinetickej a potenciálnej energie.

Hlavný podvozok, energia na jedno koleso:

$$E_{HL} = \frac{1}{2} \cdot \frac{W_{HL}}{g} \cdot v_y^2 + W_{HL} \cdot h \cdot (1 - L) \quad (13)$$

L – pomer uváženého vztlaku k hmotnosti letúnu = 2/3 podľa paragrafu 23.725(b)

h – stlačenie pneumatiky + zvislá zložka posunu osy kolesa vzhľadom k pádovej hmotnosti
 $h = 0,32$ [m] -

Energia je následne prepočítaná pomocou grafu z dynamickej skúšky hlavného podvozku na silu V ktorá pôsobí na jedno koleso. Graf z dynamickej skúšky sa nachádza v prílohe C.

Prepočet síl do súradnicovej sústavy:

$$V_r = V \cdot \cos (14^\circ) \quad (14)$$

$$D_r = V \cdot \sin (14^\circ) \quad (15)$$

Predný podvozok:

$$E_{PR} = \frac{1}{2} \cdot \frac{W_{PR}}{g} \cdot v_y^2 + W_{PR} \cdot h \cdot (1 - L) \quad (16)$$

$h = 0,227$ [m]

Energia je následne prepočítaná pomocou grafu z dynamickej skúšky predného podvozku na silu V ktorá pôsobí na koleso. Graf z dynamickej skúšky sa nachádza v prílohe C.

Prepočet síl do súradnicovej sústavy:

$$V_f = V \cdot \cos (14^\circ) \quad (17)$$

$$D_f = V \cdot \sin (14^\circ) \quad (18)$$

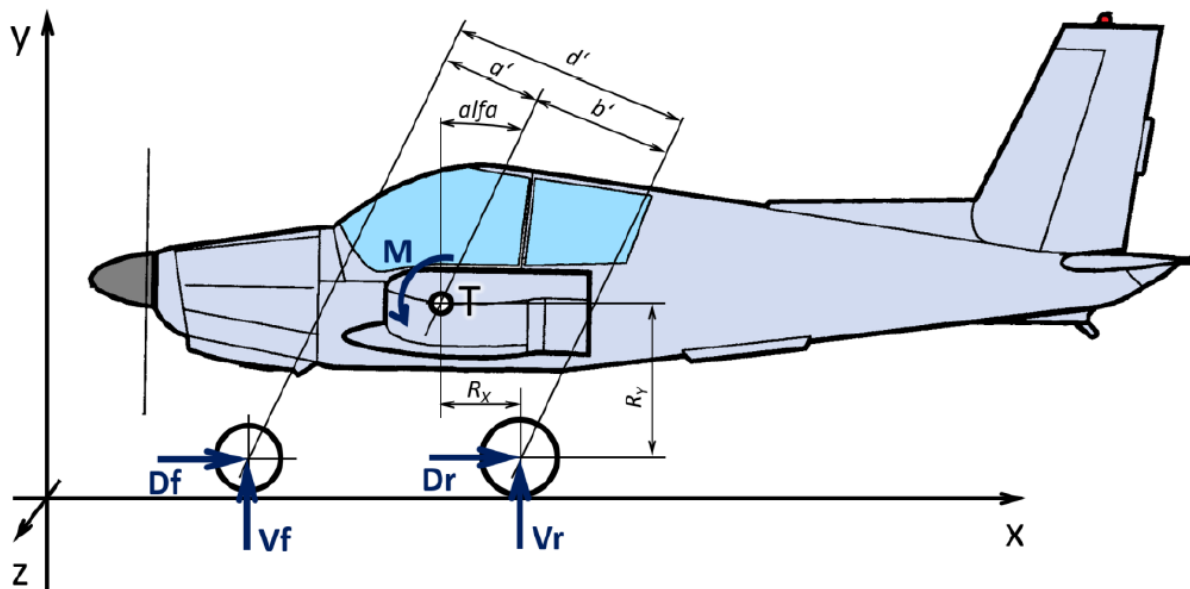
Hodnoty výpočtu sa nachádzajú v prílohe B.

9.2.4 Vodorovné pristátie s predným kolesom tesne nad zemou CS 23.479 (a)(2)(ii)

Požiadavky predpisu CS-23

Geometria podvozku pri tomto type pristátí odpovedá prípadu 23.479 (a)(2)(i)

Pre výpočet bolo použité prepérovanie hlavného podvozku na 25% zdvihu.



Obr. 33 Vodorovné pristátie s predným kolesom tesne nad zemou [13]

Výpočet redukovanej hmotnosti pre hlavný podvozok na jedno koleso :

$$W_{HL} = \frac{W}{2 \left(1 + \frac{b'^2}{i_z^2} \right)} \quad (19)$$

$$i_z^2 = \frac{I_z}{W} \quad (20)$$

i_z - vzdialenosť od osi otáčania [m^2]

I_z - Moment zotrvačnosti [$kg \cdot m^2$]

Hlavný podvozok, energia na jedno koleso:

$$E_{HL} = \frac{1}{2} \cdot \frac{W_{HL}}{g} \cdot v_y^2 + W_{HL} \cdot h \cdot (1 - L) \quad (21)$$

$h = 0,37$ [m]

Energia je následne prepočítaná pomocou grafu z dynamickej skúšky hlavného podvozku na silu V ktorá pôsobí na jedno koleso. Graf z dynamickej skúšky sa nachádza v prílohe C.

Prepočet síl do súradnicovej sústavy:

$$V_r = V \cdot \cos (14^\circ) \quad (22)$$

$$D_r = V \cdot \sin (14^\circ) \quad (23)$$

Predný podvozok:

$$V_f = 0 \quad (24)$$

$$D_f = 0 \quad (25)$$

Hodnoty výpočtu sa nachádzajú v prílohe B.

9.2.5 Pristátie s veľkým uhlom nábehu CS 23.481

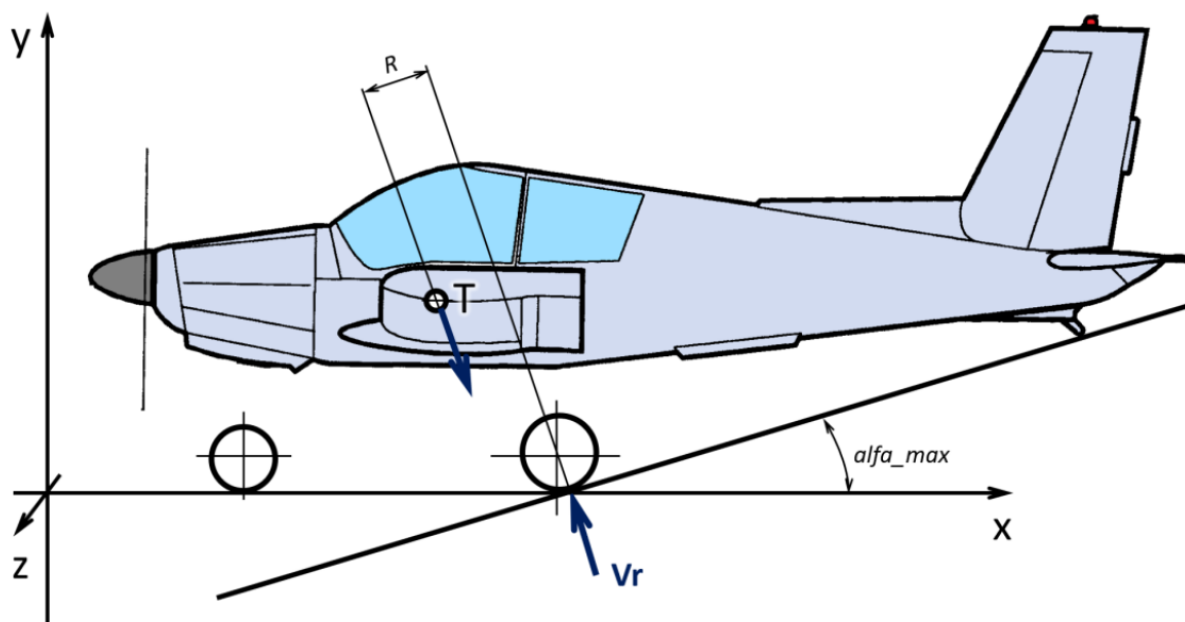
Požiadavky predpisu CS-23

(a) Pre pristátie s veľkým uhlom nábehu sa predpokladá , že letún bude mať nasledujúce polohy:

(2) Typ s predným podvozkom : pádová poloha alebo maximálny uhol dovoľujúci určitú svetlosť ktorejkoľvek časti letúnu od zeme - berie sa menšia hodnota.

(b) Pre letúny so zadným alebo predným podvozkom sa predpokladá, že reakcie od zeme sú zvislé a kolesá boli urýchlené na príslušnú obvodovú rýchlosť pred dosiahnutím maximálneho zvislého zaťaženia.

Kritický uhol nábehu α_{max} pri ktorom sa nachádza chvost tesne nad zemou sa rovná $12,6^\circ$. Na Nasledujúcom Obr.34 je zobrazená schéma pristátia pre tento prípad.



Obr. 34 Schéma pristátia s veľkým uhlom nábehu [13]

Výpočet redukovanej hmotnosti pre hlavný podvozok na jedno koleso :

$$W_{HL} = \frac{W}{2 \left(1 + \frac{R^2}{i_z^2} \right)} \quad (26)$$

$$i_z^2 = \frac{I_z}{W} \quad (27)$$

Výpočet vzdialenosti R je odvodený z Obr.34 :

$$R = [(x_{HL} - x_T) - (y_T - y_{HL}) \tan(\alpha_{max})] \cdot \cos(\alpha_{max}) \quad (28)$$

Hlavný podvozok, energia na jedno koleso:

$$E_{HL} = \frac{1}{2} \cdot \frac{W_{HL}}{g} \cdot v_y^2 + W_{HL} \cdot h \cdot (1 - L) \quad (29)$$

$$h = 0,389 \text{ [m]}$$

Energia je následne prepočítaná pomocou grafu z dynamickej skúšky hlavného podvozku na silu V ktorá pôsobí na jedno koleso. Graf z dynamickej skúšky sa nachádza v prílohe C.

Prepočet síl do súradnicovej sústavy:

$$V_r = V \quad (30)$$

$$D_r = 0 \quad (31)$$

Predný podvozok:

$$V_f = 0 \quad (32)$$

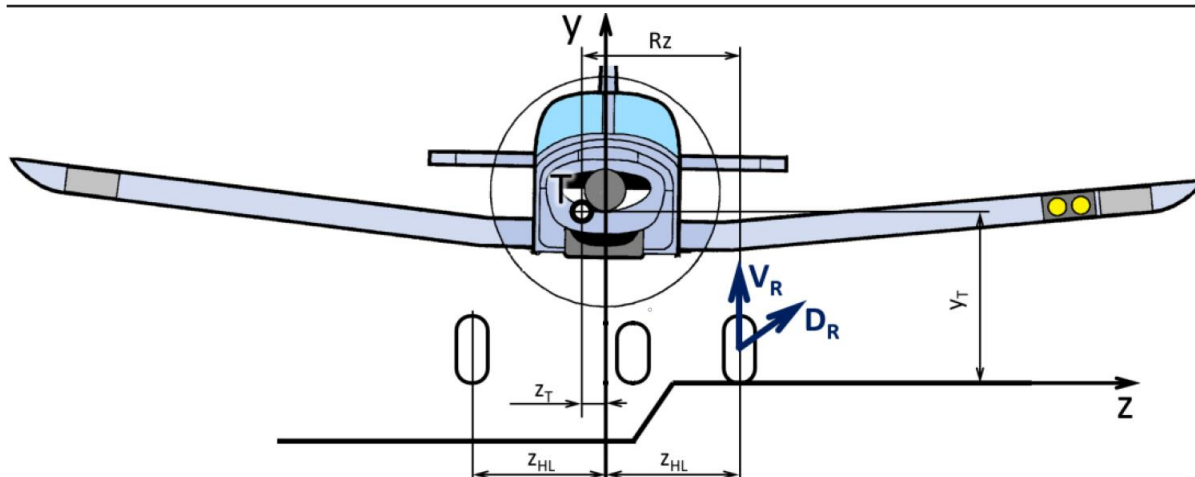
$$D_f = 0 \quad (33)$$

Hodnoty výpočtu sa nachádzajú v prílohe B.

9.2.6 Pristátie na jedno koleso CS 23.483

Požiadavky predpisu CS-23

Pri pristáti na jedno koleso sa predpokladá, že letún je vo vodorovnej polohe, jedna strana hlavného podvozku je v dotyku so zemou. V tejto polohe musí byť reakcia od zeme rovnaká, ako reakcie získaná na tejto strane podľa CS 23.479 (a)(2)(ii) viď podkapitola 9.2.4.



Obr. 35 Pristátie na jedno koleso [13]

9.2.7 Bočné zaťaženie CS 23.485

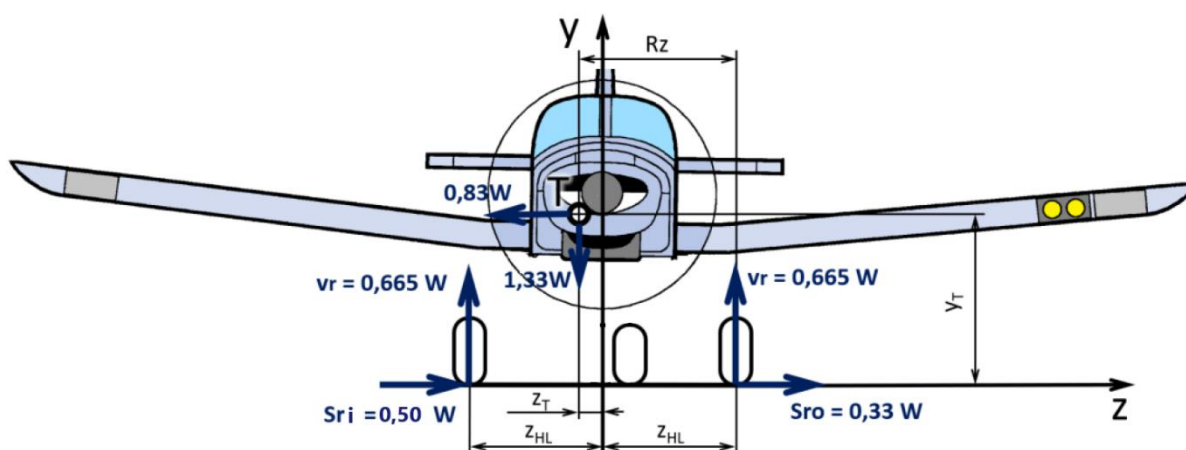
Požiadavky predpisu CS-23

(a) Pre bočné zaťaženie sa predpokladá, že letún je vo vodorovnej polohe a dotýka sa zeme iba hlavným podvozkom. Tlmiče a pneumatiky sú v tomto prípade stlačené staticky.

(b) Prevádzkový násobok zvislého zaťaženia musí byť 1,33 so zvislou reakciou zeme rovnomerne rozdelenou medzi kolesá hlavného podvozku.

(c) Prevádzkový násobok bočných zotrvačných síl musí byť 0,83 z bočných pozemných reakcií rozdelených medzi kolesá hlavného podvozku takto :

- (1) 0,5 (W) pôsobí smerom do vnútra na jednej strane a
- (2) 0,33 (W) pôsobí smerom von na strane druhej.



Obr. 36 Bočné zaťaženie [13]

Výpočet síl pôsobiacich na hlavný podvozok na jedno koleso :

$$V_r = 1,35 \cdot \frac{1}{2} \cdot W \quad (34)$$

$$S_{ri} = 0,5 \cdot W \quad (35)$$

$$S_{ro} = 0,33 \cdot W \quad (36)$$

Hodnoty výpočtu sa nachádzajú v prílohe B.

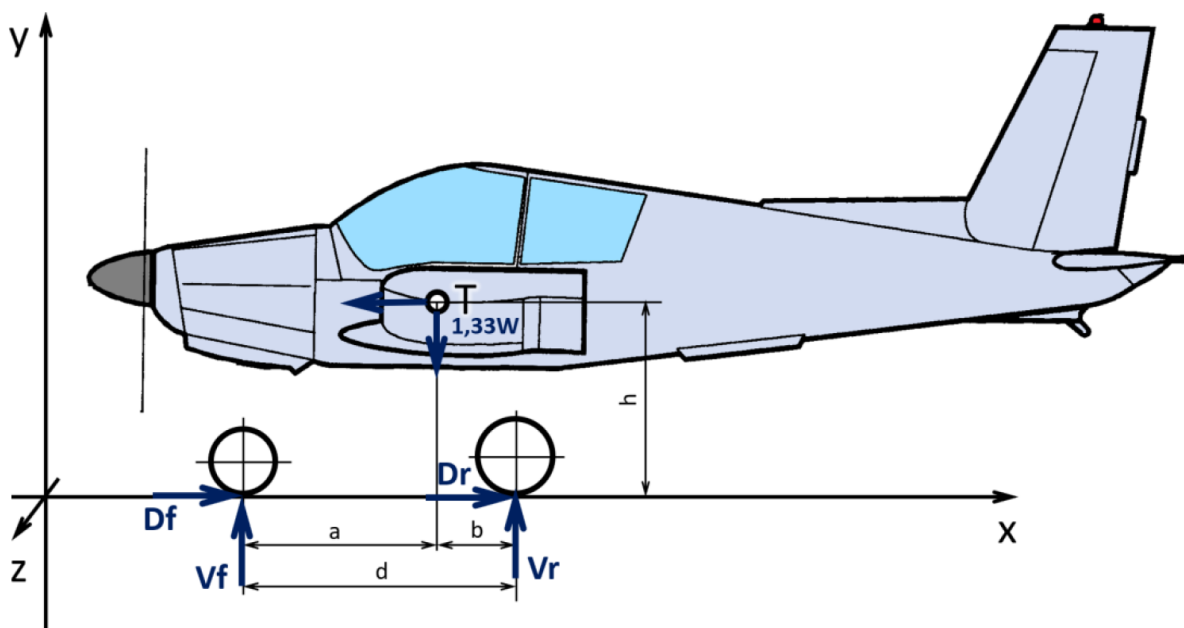
9.2.8 Podmienky brzdenia pri rolovaní CS 23.493

Požiadavky predpisu CS-23

Pre podmienky brzdenia kedy sú pneumatiky a tlmiče stlačené staticky , platia nasledujúce požiadavky :

- (a) Provozný násobok zvislého zaťaženia musí byť 1,33.
- (b) Poloha letúnu a dotyk so zemou musí odpovedať vodorovnému pristátiu CS 23.479
- (c) Odporová reakcia je rovná zvislej reakcii na kolese násobená súčiniteľom trenia 0,8 a musí byť zavedená v bode dotyku so zemou u každého kola ktoré obsahuje brzdy. Odporová reakcia by nemala prekročiť maximálnu hodnotu vyplývajúcu z medzného brzdiaceho momentu.

Poloha letúnu je rovnaká ako v prípade výpočtu statického zaťaženia z kapitoly 9.2.1.



Obr. 37 Sily pôsobiace pre brzdení [13]

Výpočet redukovanej hmotnosti pre jedno koleso na hlavný a predný podvozok :

$$W_{HL} = \frac{W}{2} \cdot \frac{a}{d} \quad (37)$$

$$W_{PR} = W \cdot \frac{b}{d} \quad (38)$$

Zaťaženie hlavného podvozku na jedno koleso :

$$V_r = 1,33 \cdot W_{HL} \quad (39)$$

$$D_r = 0,8 \cdot V_r \quad (40)$$

Keďže predný podvozok z VUT 100 neobsahuje brzdu **zaťaženie predného podvozku** vypočítame :

$$V_f = 1,33 \cdot W_{PR} \quad (41)$$

Hodnoty výpočtu sa nachádzajú v prílohe B.

9.2.9 Dodatočné podmienky pre predné podvozky CS 23.499

Požiadavky predpisu CS-23

Pri stanovení pozemných zaťažení pre predný podvozok a jeho uchytenie sa predpokladá, že pneumatiky a tlmiče sú stlačené staticky. Ďalej musia byť stanovené nasledujúce podmienky :

(a) Pre zaťaženie smerom dozadu musia byť zložky prevádzkovej sily v ose kola nasledujúce:

(1) Zvislá zložka 2,25 násobok statického zaťaženia na kolese

(2) Odporová zložka 0,8 násobok zvislého zaťaženia

Výpočet síl podľa predpisu:

$$V_f = 2,25 \cdot W_{PR} \quad (42)$$

$$D_f = 0,8 \cdot V_f \quad (43)$$

(b) Pre zaťaženie smerom dopredu musia byť zložky prevádzkovej sily v ose kola nasledujúce:

(1) Zvislá zložka 2,25 násobok statického zaťaženia na kolese

(2) Dopredná zložka 0,4 násobok zvislého zaťaženia

Výpočet síl podľa predpisu:

$$V_f = 2,25 \cdot W_{PR} \quad (44)$$

$$D_f = 0,4 \cdot V_f \quad (45)$$

(c) Pre bočné zaťaženie musia byť zložky prevádzkovej sily pri dotyku so zemou nasledujúce:

(1) Zvislá zložka 2,25 násobok statického zaťaženia na kolese

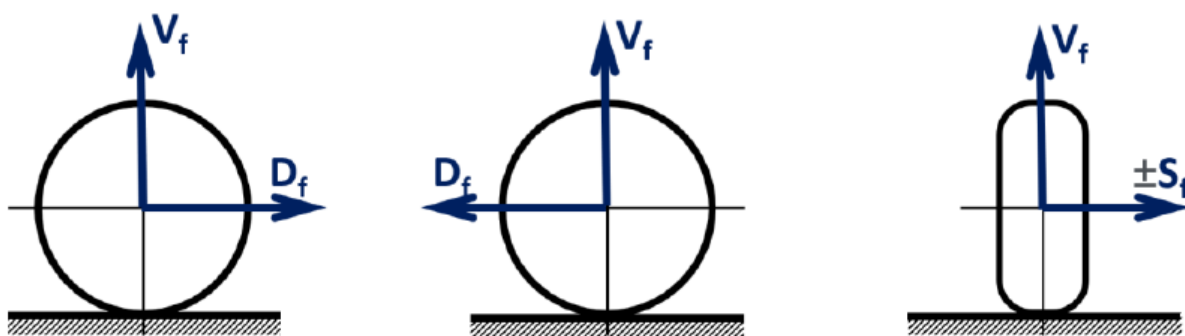
(2) Bočná zložka 0,7 násobok zvislého zaťaženia

Výpočet síl podľa predpisu:

$$V_f = 2,25 \cdot W_{PR} \quad (46)$$

$$S_f = \pm 0,7 \cdot V_f \quad (47)$$

Na nasledujúcom Obr.38 sú znázornené jednotlivé zaťaženia predného podvozku.



Obr. 38 Dodatočné podmienky predného podvozku. Zľava podmienka a, b, c [13]

Hodnoty výpočtu sa nachádzajú v prílohe B.

9.2.10 Zaťaženie pri vlečení CS 23.509

Požiadavky predpisu CS-23

Zaťaženie pri vlečení musia byť použité pri návrhu konštrukcie vlečného zariadenia a tej časti konštrukcie letúnu, na ktorej je vlečné zariadenie bezprostredne uchytené.

(a) Zaťaženie pri vlečení, uvedené v odstavci (d) tohto článku musia byť brané v úvahu oddelene. Toto zaťaženie pôsobí na vlečné zariadenie paralelne so zemou. Mimo to musia byť dodržané nasledujúce podmienky:

- (1) Násobok zvislého zaťaženia +1,0 pôsobí v ťažisku, a
- (2) Tlmiče a pneumatiky sú v polohách odpovedajúcich statickému zaťaženiu.

(b) Pre vlečné body, ktoré nie sú na podvozku, ale sú v blízkosti roviny symetrie lietadla sa uvažujú zložky čelného a bočného zaťaženia z vlečenia stanovené pre pomocný podvozok. Pre vlečné body umiestnené mimo od hlavného podvozku sa uvažujú zložky čelného a bočného zaťaženia z vlečenia stanovené pre hlavný podvozok. Kde nemožno docieľiť stanoveného uhla natáčania, musí byť použitý maximálny dosiahnuteľný uhol.

(c) Zaťaženie pri vlečení letúna stanovené v odseku (d) musia byť uvedené do rovnováhy nasledujúcim spôsobom:

- (1) Proti bočnej zložke zaťaženie z vlečenia na hlavnom podvozku pôsobí bočná sila na statickej dotykovej čiare kolesá, na ktoré pôsobí zaťaženie.
- (2) Proti zaťaženiu z vlečenia na pomocnom podvozku a čelným zložkám zaťaženie z vlečenia na hlavný podvozok pôsobí nasledujúce reakcie:
 - (i) Na nápravu kolesa, na ktorej pôsobí zaťaženie, musí pôsobiť reakcia o maximálnej hodnote zodpovedajúcu reakcii zvislej. Na dosiahnutie rovnováhy musí pôsobiť dostatočná zotrvačnosť hmotnosti letúnu.
 - (ii) Proti zaťaženiu musí pôsobiť zotrvačnosť lietadla.

(d) Predpísané zaťaženia z vlečenia sú uvedené v nasledujúcej tabuľke, kde W znamená maximálna návrhová hmotnosť letúnu.

Tab. 14 Predpísané zaťaženia z vlečenia

| Bod vlečenia | Poloha | Veľkosť zaťaženia | Zaťaženie | |
|------------------|--------------------|---------------------------------------|-----------|---|
| | | | č. | smer |
| Hlavný podvozok | | 0,225 W na jednotku hlavného podvozku | 1 | Dopredu, rovnobežne s osou čelného odporu |
| | | | 2 | Dopredu, 30° k ose čelného odporu |
| | | | 3 | Dozadu, rovnobežne s osou čelného odporu |
| | | | 4 | Dozadu, 30° k ose čelného odporu |
| Pomocný podvozok | Otočený dopredu | 0,3 W | 5 | Dopredu |
| | | | 6 | Dozadu |
| | Otočený dozadu | 0,3 W | 7 | Dopredu |
| | | | 8 | Dozadu |
| | Otočený 45°odpredu | 0,15 W | 9 | Dopredu v rovine kola |
| | | | 10 | Dozadu v rovine kola |
| | Otočený 45°odzadu | 0,15W | 11 | Dopredu v rovine kola |
| | | | 12 | Dozadu v rovine kola |

Výpočet zaťažujúcich síl pri vlečení :

Pre výpočet zaťaženia je použitá maximálna návrhová hmotnosť letúnu teda konfigurácia 80N, 92N o hmotnosti $W = 1348,19 \text{ kg}$.

č.1 Vlečná sila na hlavný podvozok :

$$D_r = 0,225 \cdot W = 0,225 \cdot 1348,19 = 303,3 \text{ [kp]} \quad (48)$$

č.5 Vlečná sila na predný podvozok (v mieste uchytenia) :

$$D_f = 0,3 \cdot W = 0,3 \cdot 1348,19 = 404,5 \text{ [kp]} \quad (49)$$

Reakcia na kolesách hlavného podvozku :

$$D_r = \frac{D_f}{2} = \frac{404,5}{2} = 202,2 \text{ [kp]} \quad (50)$$

č.9 Vlečná sila na predný podvozok (natočený na 45°):

Osová sila :

$$D_f^{\parallel} = 0,15 \cdot W \cdot \cos(45^\circ) = 0,15 \cdot 1348,19 \cdot \cos(45^\circ) = 143,0 \text{ [kp]} \quad (51)$$

Bočná sila :

$$D_f^{\perp} = D_f^{\parallel} = 143,0 \text{ [kp]} \quad (52)$$

9.3 Záver- súhrn najkritickejších hodnôt

V Tab.16 sa nachádzajú najkritickejšie hodnoty pre jednotlivé prípady zaťaženia podvozku.

Tab. 15 – Súhrn najkritickejších hodnôt pri jednotlivých prípadoch zaťaženia

| | Vf | Df | Vr | Dr | S_{ri} | S_{ro} | S_f |
|----------------------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------------------|-----------------------|----------------------|
| | [N] | [N] | [N] | [N] | [N] | [N] | [N] |
| Statické zaťaženie | 2668,6 | 0 | 5663,8 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| CS 23.479 (a)(2)(i) | 12419,8 | 3096,6 | 10970,0 | 2735,1 | 0 | 0 | 0 |
| CS 23.479 (a)(2)(ii) | 0 | 0 | 11797,7 | 2941,5 | 0 | 0 | 0 |
| CS 23.481 | 0 | 0 | 12659,0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| CS 23.485 | 0 | 0 | 8791,1 | 0 | 6609,9 | 4362,5 | 0 |
| CS 23.493 | 3549,2 | 0 | 7532,9 | 6026,3 | 0 | 0 | 0 |
| CS 23.499 a | 6004,3 | 4803,5 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| CS 23.499 c | 6004,3 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 4203,0 |
| | | | | | | | |
| Max | 12419,8 | 4803,5 | 12659 | 6026,3 | 6609,9 | 4362,5 | 4203 |

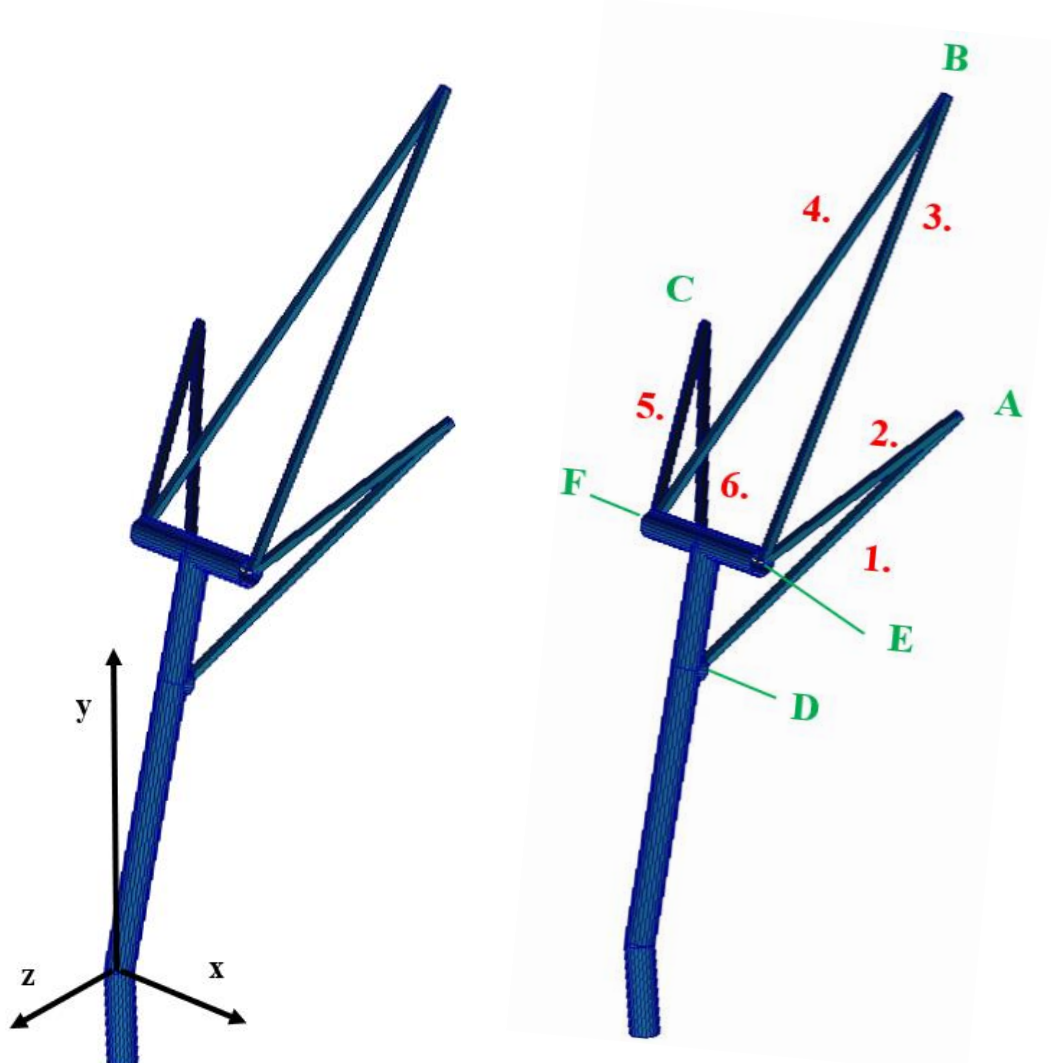
10. Pevnostný výpočet zástavby podvozku

Pre výpočet síl pôsobiacich v jednotlivých uzloch a častiach návrhu podvozku bol použitý program Patran 2019 / MSC Nastran 2019.

10.1 MKP analýza

Na nasledujúcom Obr.39 je znázornený vytvorený model v programe Patran 2019 . Model sa skladá zo šiestich prútov ktoré sa vzájomne spájajú v jednotlivých uzloch. Následne bola do modelu namodelovaná zjednodušená geometria podvozku VUT 100, na ktorú budú zavedené zaťažujúce sily od jednotlivých prípadov zaťaženia.

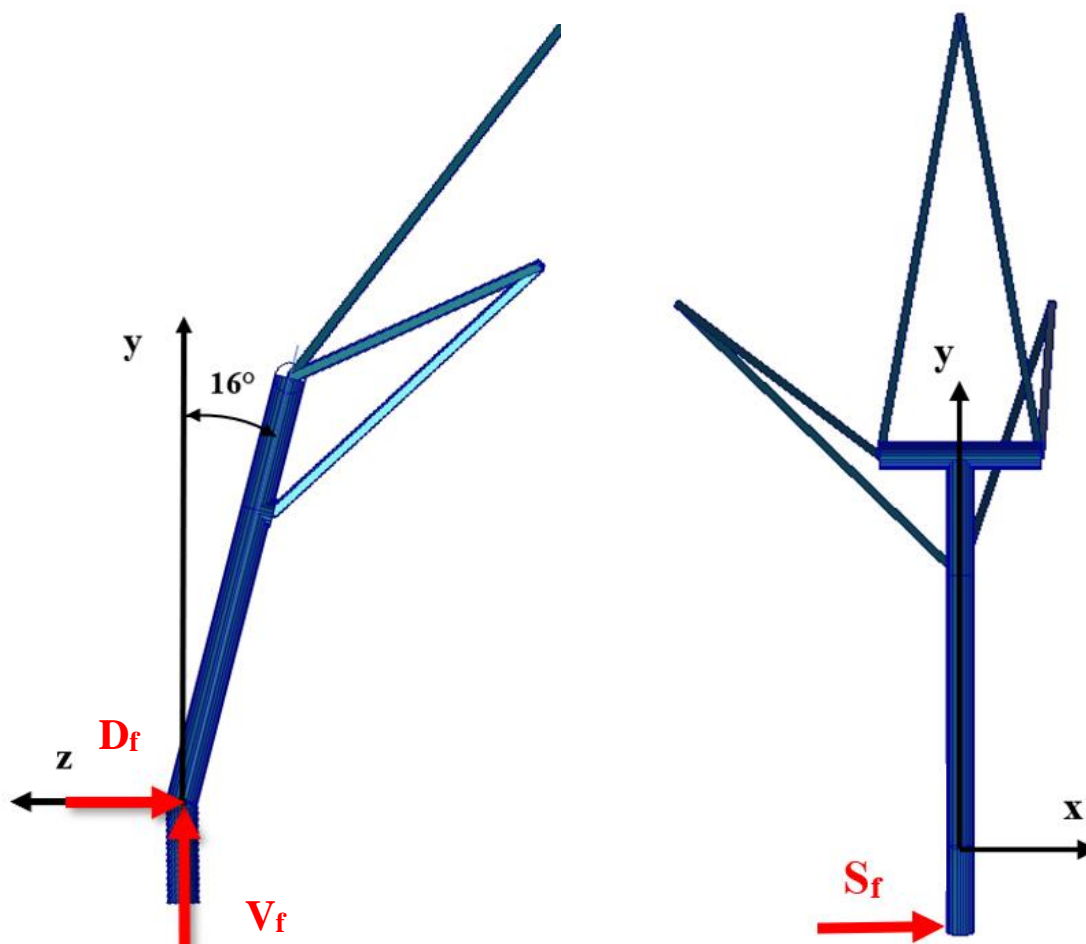
Na Obr.39 vľavo sa nachádza zvolený súradnicový systém v strede osi kola podvozku, vpravo sa nachádza označenie jednotlivých uzlov A-F a prútov 1-6.



Obr. 39 Súradnicový systém modelu, značenie

Pre vytvorenie modelu boli použité pre prvotnú analýzu 1D prvky typu Beam . Daný návrh by mal podávať dostatočne presné výsledky pre prvotnú fázu návrhu v ktorej ide o zistenie jednotlivých síl pôsobiacich v uzloch a prútoch. Poloha podvozku ako už bolo spomínané, sa v porovnaní s pôvodným nemení. Poloha podvozku bola prevzatá z dát spoločnosti Zlín Aircraft [5].

Na nasledujúcom Obr.40 sú znázornené sily pôsobiace pri jednotlivých typoch zaťaženia. Sila V_f , D_f pôsobí v osi pneumatiky predného podvozku. Bočná sila S_f pôsobí vo vzdialenosti 152 mm na osi y, čo odpovedá statickému stlačeniu pneumatiky. Prútom 1-6 sú v uzloch A ,B ,C odobrané všetky translačné stupne voľnosti, zachované sú iba rotačné väzby (guľový čap) .



Obr. 40 Sily pôsobiace na podvozok

Pre kontrolu uzlov modelu bol zo začiatku výpočet prevedený pre jednotkové sily vid' Tab.17

Tab. 16- Sily pôsobiace v uzloch pri jednotkovom zaťažení

| | Uzol | A | | | B | | | C | | |
|-------------|------|--------|--------|--------|--------|-------|-------|--------|--------|--------|
| | Sila | F_x | F_y | F_z | F_x | F_y | F_z | F_x | F_y | F_z |
| Sila | [-] | [-] | [-] | [-] | [-] | [-] | [-] | [-] | [-] | [-] |
| V_f | 1 | 0,312 | 0,759 | -0,929 | 0,0165 | -1,99 | 1,23 | -0,329 | 0,23 | -0,301 |
| D_f | -1 | -0,952 | -2,05 | 2,06 | 0,0821 | 2,8 | -1,73 | 0,87 | -0,752 | 0,674 |
| S_f | 1 | -0,409 | -0,874 | 0,869 | 0,477 | 0 | 0 | -1,07 | 0,874 | -0,869 |
| S_f | -1 | 0,409 | 0,874 | -0,869 | -0,477 | 0 | 0 | 1,07 | -0,874 | 0,869 |

| | Uzol | D | | | E | | | F | | |
|----------------|------|----------------|----------------|----------------|----------------|----------------|----------------|----------------|----------------|----------------|
| | Sila | F _x | F _y | F _z | F _x | F _y | F _z | F _x | F _y | F _z |
| Sila | [-] | [-] | [-] | [-] | [-] | [-] | [-] | [-] | [-] | [-] |
| V _f | 1 | 0 | -0,635 | -0,795 | 0 | -0,183 | 0,398 | 0 | -0,183 | 0,398 |
| D _f | -1 | 0 | -0,978 | 3,29 | 0 | 0,489 | -1,15 | 0 | 0,489 | -1,15 |
| S _f | 1 | -4,77 | 0 | 0 | 1,88 | 0,678 | 0,0919 | 1,88 | -0,678 | -0,0919 |
| S _f | -1 | 4,77 | 0 | 0 | -1,88 | -0,678 | -0,0919 | -1,88 | 0,678 | 0,0919 |

Po vykonaní kontroly boli z programu MSC Nastran zistené hodnoty prevádzkového zaťaženia prútov pri jednotlivých prípadoch zaťaženia vid' Tab.18 . Pri namáhaní prútov na tlak sa pred hodnotou nachádza znamienko [-], pri namáhaní na ťah znamienko [+].

Tab. 17 - Prevádzkové sily pôsobiace v prútoch

| Typy zaťaženia | Prúty | | | | | | | | |
|----------------------|----------------|----------------|----------------|----------|--------|----------|----------|--------|---------|
| | V _f | D _f | S _f | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 |
| | [N] | [N] | [N] | [N] | [N] | [N] | [N] | [N] | [N] |
| Statické zaťaženie | 2668,6 | 0 | 0 | 3015,5 | 322,9 | -3282,4 | -3042,2 | 272,2 | 1072,8 |
| CS 23.479 (a)(2)(i) | 12419,8 | -3096,6 | 0 | 2886,6 | 3370,0 | -10848,2 | -8244,1 | 2836,8 | -643,1 |
| CS 23.479 (a)(2)(ii) | 0 | 0 | 0 | 0,0 | 0,0 | 0,0 | 0,0 | 0,0 | 0,0 |
| CS 23.481 | 0 | 0 | 0 | 0,0 | 0,0 | 0,0 | 0,0 | 0,0 | 0,0 |
| CS 23.485 | 0 | 0 | 0 | 0,0 | 0,0 | 0,0 | 0,0 | 0,0 | 0,0 |
| CS 23.493 | 3549,2 | 0 | 0 | 4010,6 | 429,5 | -4365,5 | -4046,1 | 362,0 | 1426,8 |
| CS 23.499 a | 6004,3 | -4803,5 | 0 | -10507,7 | 3623,0 | -516,3 | 2329,8 | 3047,8 | -6328,6 |
| CS 23.499 c | 6004,3 | 0 | 4203 | 270,2 | 1895,0 | -13185,4 | -1044,8 | -900,6 | 10735,7 |
| CS 23.499 c | 6004,3 | 0 | -4203 | 13299,5 | -441,9 | -1585,1 | -12645,0 | 2125,5 | -5908,2 |

Sivou farbou v Tab.18 sú označené najvyššie hodnoty pri namáhaní na tlak pre jednotlivé prúty.

V zostavnom modeli v programe catia V5 boli následne odmerané dĺžky jednotlivých prútov vid' Tab.19 .

Tab. 18 – Dĺžka prútov

| Prúty | [-] | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 |
|-------|------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|
| Dĺžka | [mm] | 590,2 | 427,3 | 814,3 | 814,3 | 554,1 | 752,6 |

10.2 Dimenzovanie prútov podvozku

Pre návrh dimenzií prútov bolo počítané s početným zaťažením. Početné zaťaženie je stanovené z prevádzkového zaťaženia ktoré je vynásobené súčiniteľom bezpečnosti f_{po} ktoré nadobúda hodnotu **1,5**.

Tab. 19 – Početné Sily pôsobiace v prútoch

| Typy zaťaženia | Prúty | | | | | | | | |
|----------------------|-----------------------|-----------------------|-----------------------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|
| | V _f [N] | D _f [N] | S _f [N] | 1 [N] | 2 [N] | 3 [N] | 4 [N] | 5 [N] | 6 [N] |
| Statické zaťaženie | 4002,9 | 0,0 | 0,0 | 4523,3 | 484,4 | -4923,6 | -4563,3 | 408,3 | 1609,2 |
| CS 23.479 (a)(2)(i) | 18629,7 | -4644,9 | 0,0 | 4329,9 | 5055,0 | -16272,3 | -12366,2 | 4255,2 | -964,7 |
| CS 23.479 (a)(2)(ii) | 0,0 | 0,0 | 0,0 | 0,0 | 0,0 | 0,0 | 0,0 | 0,0 | 0,0 |
| CS 23.481 | 0,0 | 0,0 | 0,0 | 0,0 | 0,0 | 0,0 | 0,0 | 0,0 | 0,0 |
| CS 23.485 | 0,0 | 0,0 | 0,0 | 0,0 | 0,0 | 0,0 | 0,0 | 0,0 | 0,0 |
| CS 23.493 | 5323,8 | 0,0 | 0,0 | 6015,9 | 644,3 | -6548,3 | -6069,2 | 543,0 | 2140,2 |
| CS 23.499 a | 9006,5 | -7205,3 | 0,0 | -15761,6 | 5434,5 | -774,5 | 3494,7 | 4571,7 | -9492,9 |
| CS 23.499 c | 9006,5 | 0,0 | 6304,5 | 405,3 | 2842,5 | -19778,1 | -1567,2 | -1350,9 | 16103,6 |
| CS 23.499 c | 9006,5 | 0,0 | -6304,5 | 19949,3 | -662,9 | -2377,7 | -18967,5 | 3188,3 | -8862,3 |

Z Tab.20 boli vybraté z pomedzi všetkých prípadov zaťaženia najväčšie ťahové (modrá farba) a tlakové (sivá farba) sily ktoré pôsobia v jednotlivých prútoch pre početné zaťaženie.

10.2.1 Stabilita prútov – Eulerova metóda

Po zistení najväčších síl, ktoré nám v jednotlivých prútoch pôsobia bolo možné prejsť k samotnému dimenzovaniu trubiek. Dimenzovanie prebiehalo pomocou Eulerovej metódy [15]

Vzťah pre Eulerovu metódu namáhania na vzper :

$$F_{krit} = \frac{\pi^2 \cdot E \cdot J}{l^2} \quad (53)$$

F_{krit} – kritická sila [N]

E – modul pružnosti [MPa]

J – kvadratický moment [mm²]

l – vzperná dĺžka, je rovná dĺžke sínusovej polovlny ohybovej čiary po vybočení [mm]

Výpočet kvadratického momentu J :

$$J = \frac{\pi \cdot D^4}{64} \cdot \left[1 - \left(\frac{d}{D} \right)^4 \right] \quad (54)$$

D – vonkajší priemer trubky [mm]

d – vnútorný priemer trubky [mm]

Ako materiálom pre prúty 1-6 boli zvolené presné oceľové bezšvové rúry pre letecký priemysel z ocele akosti 15 130 (L-CM3.9) ktorý má nasledujúce mechanické charakteristiky:

$$R_m = 590 \text{ MPa}$$

$$R_{p0.2} = 440 \text{ MPa}$$

$$E = 220 \text{ GPa}$$

$$\gamma = 7,85 \text{ g/cm}^3$$

Súčiniteľ bezpečnosti v tlaku :

$$j_{tlak} = \frac{F_{krit}}{F_{tlak}} \quad (55)$$

j_{tlak} – súčiniteľ bezpečnosti v tlaku [-]

F_{tlak} – najvyššia tlaková sila pôsobiaca v danom prúte [N]

Súčiniteľ bezpečnosti v ťahu :

$$j_{tah} = \frac{R_m \cdot S}{F_{tah}} \quad (56)$$

j_{tah} - súčiniteľ bezpečnosti v ťahu [-]

F_{tah} - najvyššia ťahová sila pôsobiaca v danom prúte [N]

S- plocha prierezu [mm²]

V nasledujúcej Tab.21 je prevedený návrh veľkého a malého priemeru jednotlivých trubiek s výpočtom súčiniteľa bezpečnosti. Pre výpočet bolo brané početné zaťaženie.

Tab. 20 – Návrh veľkého a malého priemeru trubiek 1-6

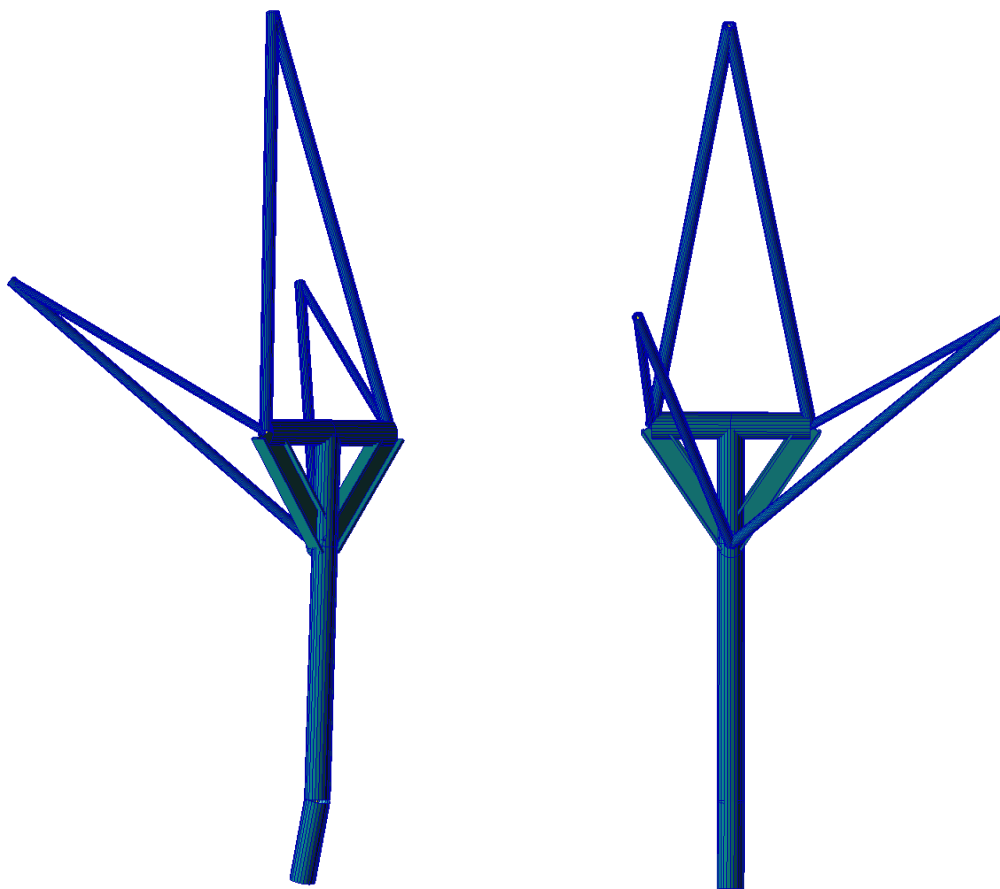
| Prúty | F_{tah} | F_{tlak} | D | t | d | J | S | l | F_{krit} | J_{tlak} | J_{tah} |
|-------|-----------|------------|------|------|------|--------------------|--------------------|-------|------------|------------|-----------|
| | [N] | [N] | [mm] | [mm] | [mm] | [mm ⁴] | [mm ²] | [mm] | [N] | [-] | [-] |
| 1 | 19949,3 | -15761,6 | 20 | 1,5 | 17 | 3754,0 | 87,2 | 590,2 | 23399,0 | -1,48 | 2,58 |
| 2 | 5434,5 | -662,9 | 16 | 1,5 | 13 | 1815,0 | 68,3 | 427,3 | 21582,2 | -32,56 | 7,42 |
| 3 | 0 | -19778,1 | 24 | 2 | 20 | 8431,8 | 138,2 | 814,3 | 27608,8 | -1,40 | ∞ |
| 4 | 3494,7 | -18967,5 | 24 | 2 | 20 | 8431,8 | 138,2 | 814,3 | 27608,8 | -1,46 | 23,34 |
| 5 | 4571,7 | -1350,9 | 16 | 1,5 | 13 | 1815,0 | 68,3 | 554,1 | 12834,7 | -9,50 | 8,82 |
| 6 | 16103,6 | -9492,9 | 20 | 1,5 | 17 | 3754,0 | 87,2 | 752,6 | 14390,2 | -1,52 | 3,19 |

Tab. 21- Predpokladaná hmotnosť trubiek

| Prúty | [-] | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | Celková hmotnosť |
|----------|------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|------------------|
| Hmotnosť | [kg] | 0,404 | 0,229 | 0,884 | 0,884 | 0,297 | 0,515 | 3,212 |

10.3 Deformácia podvozku

Po návrhu trubiek bol MKP model v Patrane aktualizovaný. podvozok z VUT 100 bol namodelovaný tak, aby sa jeho tuhosť čo najviac približovala pôvodnému podvozku.



Obr. 41 Model na výpočet deformácie

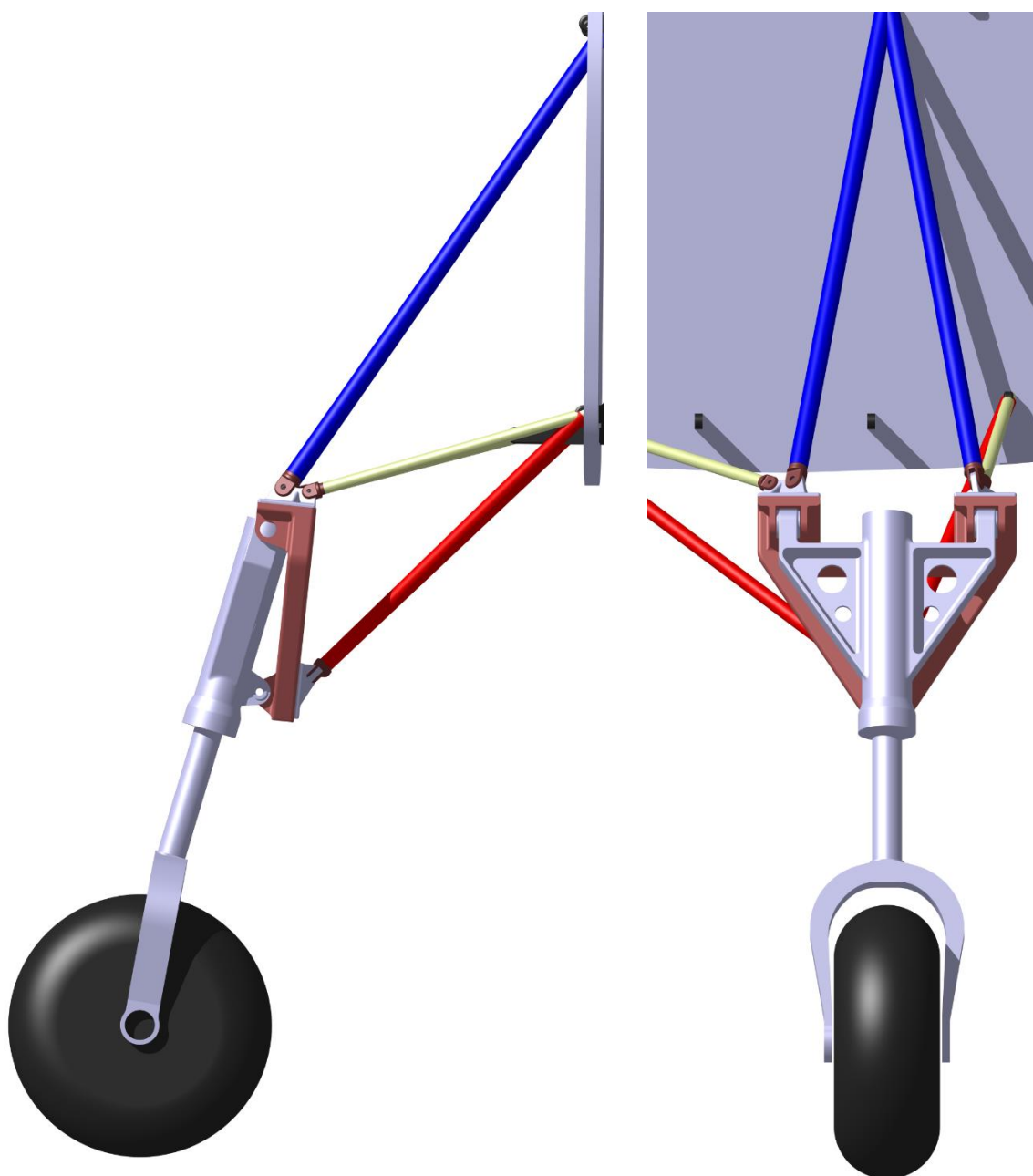
V nasledujúcej Tab.22 je zobrazený posuv bodu v stredovej osi pneumatiky vzhľadom k súradnicovému systému zadanému v kapitole 10. Výpočet bol prevedený pre prevádzkové zaťaženie.

Tab. 22 – Deformácia bodu v stredovej osi podvozku pri prevádzkovom zaťažení

| | Vf | Df | Sf | x | y | z |
|----------------------|-----------|-----------|-----------|----------|----------|----------|
| | [N] | [N] | [N] | [mm] | [mm] | [mm] |
| Statické zaťaženie | 2668,6 | 0 | 0 | -0,0518 | 0,495 | 1,24 |
| CS 23.479 (a)(2)(i) | 12419,8 | 3096,6 | 0 | -0,0966 | 0,867 | 1,39 |
| CS 23.479 (a)(2)(ii) | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| CS 23.481 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| CS 23.485 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| CS 23.493 | 3549,2 | 0 | 0 | -0,0689 | 0,658 | 1,65 |
| CS 23.499 a | 6004,3 | 4803,5 | 0 | 0,108 | -1,11 | -4,00 |
| CS 23.499 c | 6004,3 | 0 | 4203 | 6,15 | 1,01 | 2,54 |
| CS 23.499 c | 6004,3 | 0 | -4203 | -6,38 | 1,21 | 3,03 |

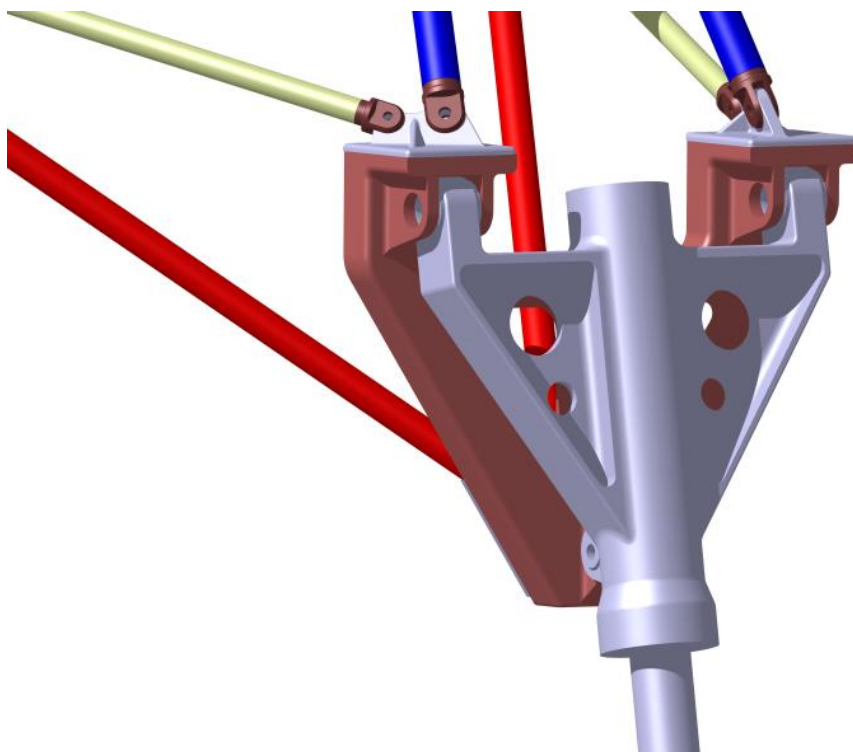
11. Návrh podvozkového lôže

Pre prenos zaťaženia medzi podvozkom a prútmi bolo navrhnuté podvozkové lôže. Vďaka tomuto návrhu sa výrazne zjednoduší montáž, demontáž podvozku a zlepšia sa prevádzkové charakteristiky. Pre lepšiu predstavu sa na Obr.42 nachádza bočný a predný pohľad na zástavbu podvozku. Podvozkové lôže je zobrazené hnedou farbou.

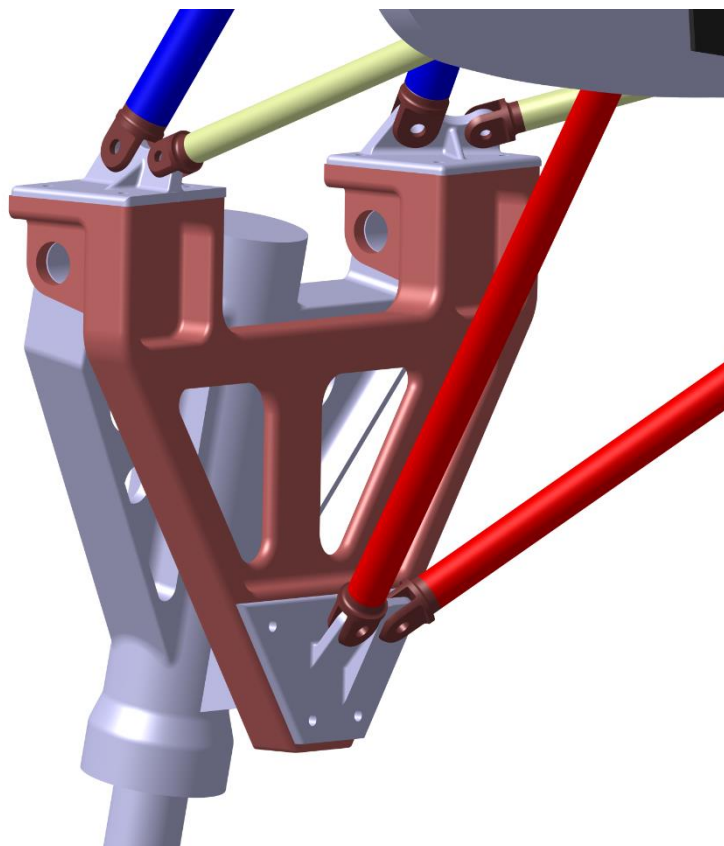


Obr. 42 – Zástavba podvozku bočný pohľad, predný pohľad

Ako hlavným materiálom podvozkového lôže je zvolený dural Z 424201.61 s medzou pevnosti $R_m = 390$ MPa. Ako je vidno z Obr.43 podvozok sa uchyťí do lôže pomocou 3 čapov.

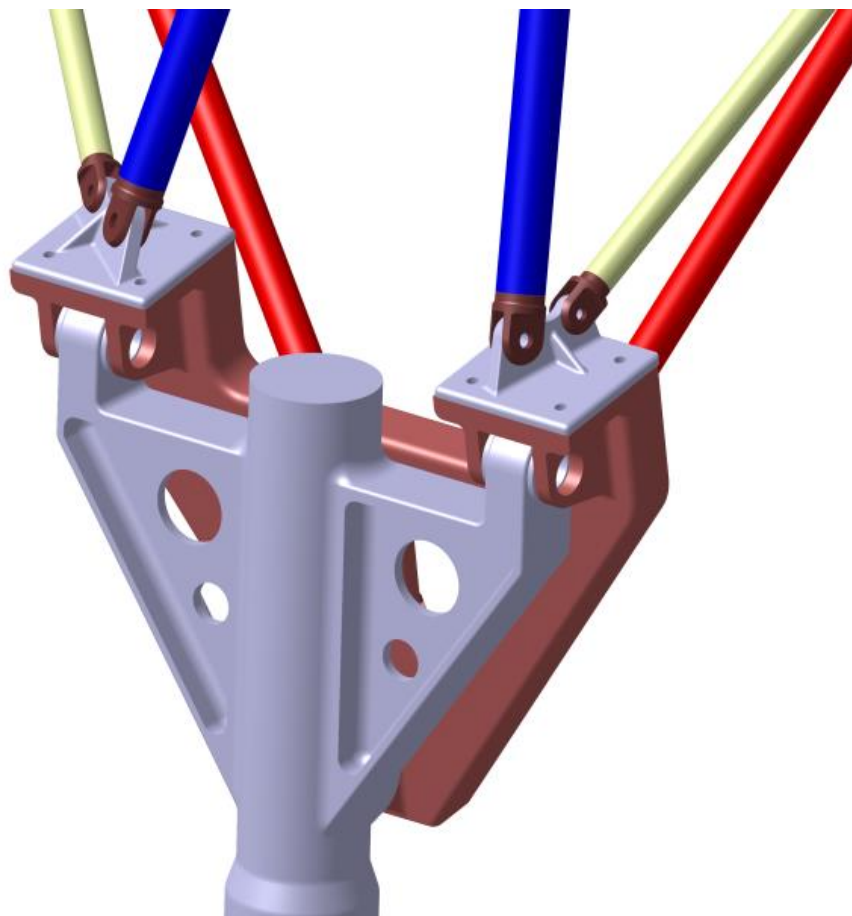


Obr. 43 Zástavba podvozku



Obr. 44 Zástavba podvozku uzly

Podvozkové lôže je uchytené do prútov v bodoch D, E, F za pomoci zvaraných oceľových závesov. Tieto závesy ktoré sú zakreslené sivou farbou sú prichytené do lôže pomocou skrutiek. V osi symetrie podvozku sa nachádza v hornej časti lôže medzi uzlom E, F vybratie, ktoré bolo vytvorené pre mechanizmus riadenia podvozku.



Obr. 45 Zástavba podvozku uzly E, F

11.1 Pevnostný výpočet uzlov

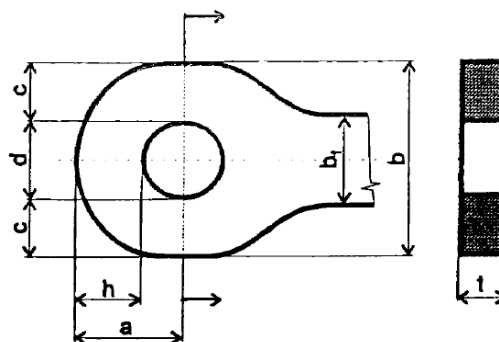
Ako podklad pre pevnostný výpočet oka a vidlice bola použitá literatúra : A.Píštěk a kolektiv: Soubor podkladů pro pevnostní výpočty leteckých konstrukcí. Revidované vydání 2018. [16]

11.1.1 Pevnostný výpočet oka oceľového závesu pre prúty 1, 3, 4, 6

V Tab.24 sa nachádzajú vstupné navrhnuté parametre pre výpočet oka. Ako materiál bola zvolená oceľ L-CM3.6 s $R_m = 640 \text{ MPa}$ a $R_{p0.2} = 440 \text{ MPa}$.

Tab. 23 – Vstupné dáta oka pre prúty 1, 3, 4, 6

| Znak | Vzdialenosť [mm] |
|------|---------------------|
| c | 8 |
| a | 12 |
| d | 8 |
| t | 8 |



Obr. 46 Výpočet oka [16]

11.1.1.1 Výpočet oka na utrhnutie

Výpočet napätia σ :

$$\sigma = (1,15) \cdot \frac{P}{F_1}, \sigma \leq R_m \quad (57)$$

$$F_1 = 2 \cdot c \cdot t \quad (58)$$

$$\sigma = (1,15) \cdot \frac{19949,25}{128} = 173,23 \text{ MPa} \leq 640 \text{ MPa} \quad (59)$$

P – Najväčšia ťahová početná sila pôsobiaca v prútoch [N]

F_1 – Plocha [mm^2]

σ – Napätie [MPa]

11.1.1.2 Výpočet oka na vyšmyknutie čapu a roztrhnutie

Výpočet napätia σ_{otl} :

$$\sigma_{otl} = \frac{P}{F_2}, \sigma_{otl} \leq \sigma_{PK \text{ otl}} \quad (60)$$

$$F_2 = d \cdot t \quad (61)$$

$$\sigma_{otl} = \frac{19949,25}{64} = 311,71 \text{ MPa} \leq 928 \text{ MPa} \quad (62)$$

F_2 – Plocha [mm²]

$\sigma_{PK \text{ otl}}$ – Hodnota získaná z grafu II $\frac{\sigma_{PK \text{ otl}}}{R_m} = 1,45 [-]$

11.1.1.3 Otláčenie oka

Výpočet napätia σ_{otl} :

$$\sigma_{otl} = \frac{P_{tlak}}{F_2}, \sigma_{otl} \leq \sigma_{PK \text{ otl}} \quad (63)$$

$$F_2 = d \cdot t \quad (64)$$

$$\sigma_{otl} = \frac{19778,1}{64} = 309,03 \text{ MPa} \leq 1920 \text{ MPa} \quad (65)$$

P_{tlak} – Najväčšia tlaková početná sila pôsobiaca v prútoch 1 a 6 [N]

$$\sigma_{PK \text{ otl}} - \frac{\sigma_{PK \text{ otl}}}{R_m} = 3 [-]$$

11.1.1.4 Výpočet oka s ohľadom na deformáciu - utrhnutie

Výpočet napätia σ :

$$\sigma = \frac{P}{F_1}, \sigma \leq \sigma_{pk} \quad (66)$$

$$\sigma_{pk} = 0,735 \cdot R_{P0.2} \cdot f_2 \cdot f_3 \cdot f_4 \cdot k_1 \cdot k_2 \cdot \frac{1}{0,75} \quad (67)$$

$$\sigma = \frac{19949,25}{128} = 155,85 \text{ MPa} \leq 272,17 \text{ MPa} \quad (68)$$

$f_2 = 1,052$ - vplyv dovolenej deformácie graf – Výpočet oka IV [-]

$f_3 = 1$ - platí pre uloženie H8, vplyv vôle dovolenej pri výrobe [-]

$f_4 = 0,6$ - vplyv druhu zaťaženia a význam časti draku letúnu [-]

$k_1 = 1$ - vplyv zúženia za okom [-]

$k_2 = 1$ - vplyv smeru pôsobenia sily P na oko [-]

11.1.1.5 Výpočet oka s ohľadom na deformáciu – vyšmyknutie čapu a roztrhnutie

Výpočet napätia σ_{otl} :

$$\sigma_{otl} = \frac{P}{F_2}, \sigma_{otl} \leq \sigma_{PK\ otl}^* \quad (69)$$

$$\sigma_{PK\ otl}^* = R_{P0.2} \cdot f_1 \cdot f_2 \cdot f_3 \cdot f_4 \cdot k_1 \cdot k_2 \cdot \frac{1}{0,75} \quad (70)$$

$$\sigma_{otl} = \frac{19949,25}{64} = 311,71\ MPa \leq 416,60\ MPa \quad (71)$$

$f_1 = 1,125$ [–] vplyv šírky t oka a vzdialenosti otvoru od okraja oka graf - Výpočet oka III

11.1.1.6 Výpočet oka s ohľadom na deformáciu – otláčenie

Výpočet napätia σ_{otl} :

$$\sigma_{otl} = \frac{P_{tlak}}{F_2}, \sigma_{otl} \leq \sigma_{PK\ otl}^* \quad (72)$$

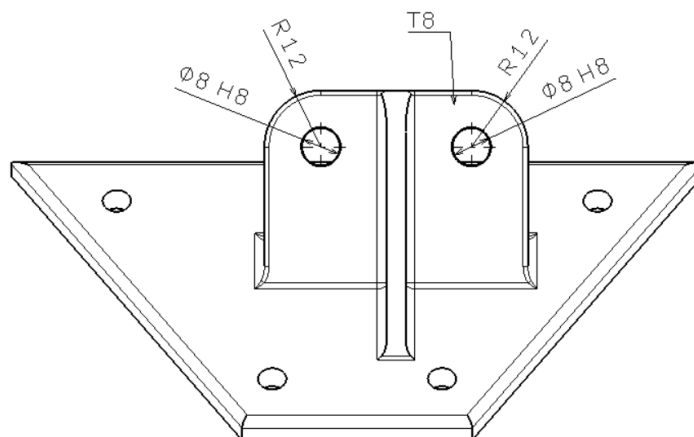
$$\sigma_{PK\ otl}^* = R_{P0.2} \cdot f_1 \cdot f_2 \cdot f_3 \cdot f_4 \cdot k_1 \cdot k_2 \cdot \frac{1}{0,75} \quad (73)$$

$$\sigma_{otl} = \frac{19778,1}{64} = 309,03\ MPa \leq 511,02\ MPa \quad (74)$$

$f_1 = 1,43$ [–] pri čistom tlaku sa berie hodnota pre $a/d = 4$

$f_2 = 1,052$ [–] pri čistom tlaku sa berie hodnota pre $a/d = 4$

Na nasledujúcom Obr.47 sú znázornené navrhnuté rozmery závesu v uzle D.



Obr. 47 Rozmery ocelového závesu uzlu D

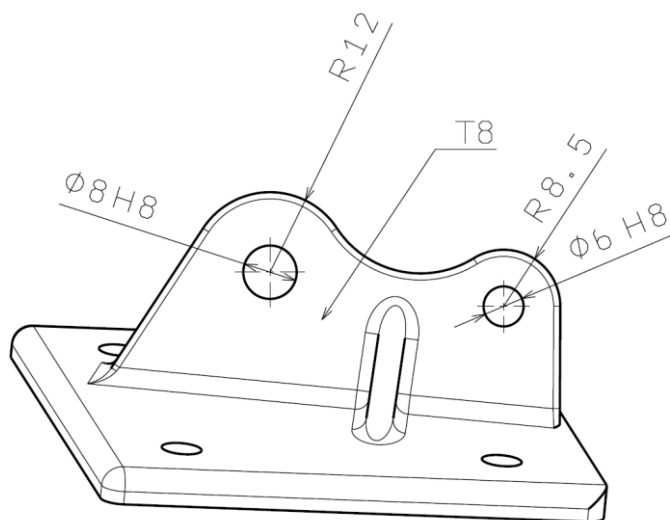
11.1.2 Pevnostný výpočet oka ocelového závesu pre prúty 2, 5

Početné sily pôsobiace v prútoch 2 a 5 sú v porovnaní so silami v ostatných prútoch skoro zanedbateľné. V nasledujúcej Tab.25 sú zobrazené návrhové hodnoty oka pre prúty 2, 5.

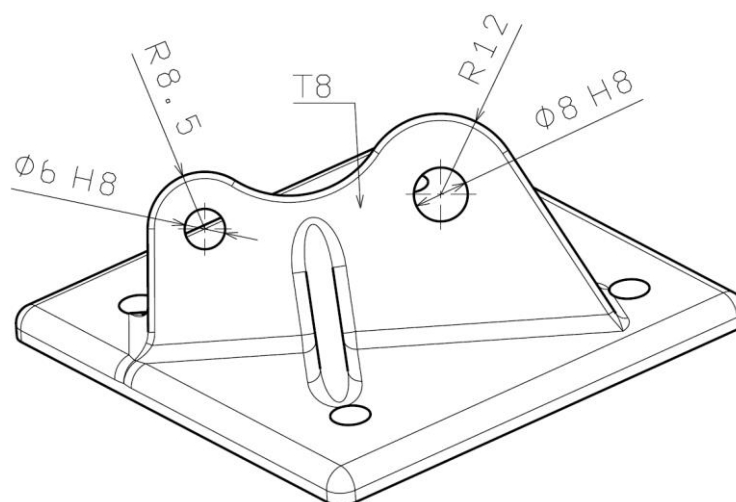
Tab. 24 - Vstupné dáta oka pre prúty 2, 5

| | Vzdialenosť |
|------|-------------|
| Znak | [mm] |
| c | 5,5 |
| a | 8,5 |
| d | 6 |
| t | 8 |

Pre lepšiu predstavu jednotlivých dimenzií sú zvarané závesy zobrazené na Obr.48, Obr.49.



Obr. 48 Záves E



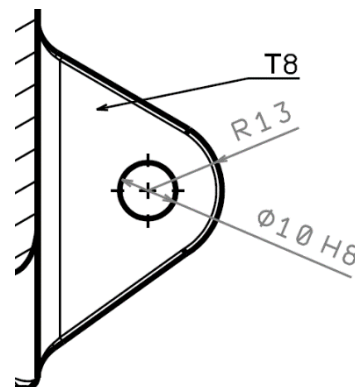
Obr. 49 Záves F

11.1.3 Pevnostný výpočet oka podvozkového lóže uzlu D

V Tab.26 sa nachádzajú vstupné navrhnuté parametre pre výpočet oka. Ako už bolo spomínané materiál podvozkového lóže bol zvolený dural Z 424201.61 s $R_m = 390 \text{ MPa}$ a $R_{p0.2} = 255 \text{ MPa}$.

Tab. 25 – Vstupné dáta oka podvozkového lóže uzlu D

| | Vzdialenosť |
|------|-------------|
| Znak | [mm] |
| c | 8 |
| a | 13 |
| d | 10 |
| t | 9,9 |



Obr. 50- Uzol D podvozkové lóže

11.1.3.1 Výpočet oka na utrhnutie

Výpočet napätia σ :

$$\sigma = (1,15) \cdot \frac{16379,4}{2 \cdot 8 \cdot 9,9} = 118,90 \text{ MPa} \leq 390 \quad (75)$$

P – Najväčšia ťahová početná sila pôsobiaca v uzle D [N]

11.1.3.2 Výpočet oka na vyšmyknutie čapu a roztrhnutie

Výpočet napätia σ_{otl} :

$$\sigma_{otl} = \frac{16379,4}{10 \cdot 9,9} = 165,45 \text{ MPa} \leq 468 \text{ MPa} \quad (76)$$

$\sigma_{PK \text{ otl}}$ – Hodnota získaná z grafu II $\frac{\sigma_{PK \text{ otl}}}{R_m} = 1,2$

11.1.3.3 Výpočet oka s ohľadom na deformáciu - utrhnutie

Výpočet napätia σ :

$$\sigma = \frac{16379,4}{2 \cdot 8 \cdot 9,9} = 103,41 \text{ MPa} \leq 149 \text{ MPa} \quad (77)$$

$f_2 = 1,049 [-]$ vplyv dovolenej deformácie graf – Výpočet oka IV

$f_3 = 1 [-]$ platí pre uloženie H8, vplyv vôle dovolenej pri výrobe

$f_4 = 0,6 [-]$ vplyv druhu zaťaženia a význam časti draku letúnu

$k_1 = 1 [-]$ vplyv zúženia za okom

$k_2 = 0,95 [-]$ vplyv smeru pôsobenia sily P na oko

11.1.3.4 Výpočet oka s ohľadom na deformáciu – vyšmyknutie čapu a roztrhnutie

Výpočet napätia σ_{otl} :

$$\sigma_{otl} = \frac{16379,4}{10 \cdot 9,9} = 165,45 \text{ MPa} \leq 208,18 \text{ MPa} \quad (78)$$

$f_1 = 1,024 [-]$ vplyv šírky t oka a vzdialenosti otvoru od okraja oka graf - Výpočet oka III

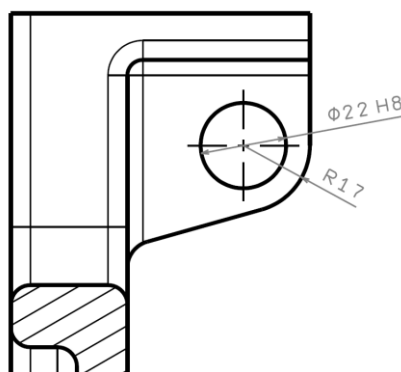
Sily pôsobiace v uzloch D, E, F pre jednotlivé prípady zaťaženie sú uvedené v prílohe D.

11.1.4 Pevnostný výpočet oka podvozkového lôže uzlu E, F

Z výsledkov síl pôsobiacich v uzle E a F vychádza že uzly budú namáhané primárne na tlak a teda budú počítané na otláčenie oka pri čistom tlaku. V nasledujúcej Tab.27 sú zobrazené navrhnuté parametre vidličky.

Tab. 26 – Vstupné dáta vidličky uzlov E, F

| | Vzdialenosť |
|------|-------------|
| Znak | [mm] |
| c | 6 |
| a | 17 |
| d | 22 |
| t | 2 x 8 |



Obr. 51 Vidlička uzlov E, F

11.2 Súčiniteľ bezpečnosti

Zhrnutie súčiniteľov bezpečnosti pre jednotlivé uzly

Tab. 27 – súčinitele bezpečnosti jednotlivých uzlov

| Prúty/uzly | Utrhnutie R_m/σ | Vyš. čapu $\sigma_{pk\ otl}/\sigma_{otl}$ | Otlačenie $\sigma_{pk\ otl}/\sigma_{otl}$ | S ohľadom na deformáciu | | |
|------------|---------------------------|--|--|---------------------------|--|--|
| | | | | Utrhnutie R_m/σ | Vyš. čapu $\sigma_{pk\ otl}/\sigma_{otl}$ | Otlačenie $\sigma_{pk\ otl}/\sigma_{otl}$ |
| | [-] | [-] | [-] | [-] | [-] | [-] |
| 1, 6 | 3,69 | 2,98 | 6,21 | 1,75 | 1,33 | 1,65 |
| 3, 4 | 3,69 | 2,98 | 6,21 | 1,75 | 1,33 | 1,65 |
| 2, 5 | 8,31 | 7,52 | 75,05 | 4,52 | 2,64 | 14,40 |
| D | 3,28 | 2,83 | - | 1,44 | 1,26 | - |
| E, F | - | - | 62,00 | - | - | 13,83 |

11.3 Návrh kĺbového upevnenia trubkovej zástavby

Podvozok je prepojený s priehradovou konštrukciou za pomoci trubkovej zástavby. Na Obr.52 je zobrazené prepojenie vidličky, trubky a oka v ktorom sa bude nachádzať kĺbové ložisko ŠM8 Gost 3635-78 s prípustným radiálnym zaťažením 31380 N . Ložisko bude použité pre prúty 1, 3, 4, 6. Pre prúty 2, 5 bude použité kĺbové ložisko ŠM5 Gost 3635-78 s prípustným radiálnym zaťažením 19613 N.



Obr. 52 Návrh vidličky, oka pre trubkovú zástavbu

12. Hmotnostné zhodnotenie návrhu

V nasledujúcich tabuľkách sa nachádzajú hmotnosti jednotlivých častí novej zástavby. Hodnoty hmotnosti boli získané z programu CATIA V5 kde sa ku každej súčiastke priradila daná hustota materiálu.

Tab. 28 Hmotnosť trubkovej zástavby

| Prúty | | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | |
|----------|------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|----------------------------|
| Dĺžka | [mm] | 420 | 295 | 623 | 623 | 415 | 561 | Σ |
| Hmotnosť | [kg] | 0,287 | 0,158 | 0,676 | 0,676 | 0,223 | 0,384 | 2,404 |

Tab. 29 Hmotnosť vidličiek a oka pre trubkovú zástavbu

| Vidlička | | Ø 16 | Ø20 | Ø24 | Σ |
|---------------|------|-----------|-----------|-----------|----------------------------|
| Hmotnosť | [kg] | 2 x 0,041 | 2 x 0,061 | 2 x 0,065 | 0,334 |
| | | | | | |
| Oko + ložiská | | ŠM8 | ŠM5 | | |
| Hmotnosť | [kg] | 4 x 0,070 | 2 x 0,055 | | 0,39 |

Tab. 30 Hmotnosť podvozkového lôže a závesov so svorníkmi

| Záves | | D | E | F | Podvozkové lôže | Σ |
|----------|------|-------|-------|-------|-----------------|----------------------------|
| Hmotnosť | [kg] | 0,368 | 0,269 | 0,269 | 2,769 | 3,675 |

V Tab. 32 je znázornené finálne porovnanie hmotností nového a pôvodného podvozku.

Tab. 31 Porovnanie hmotností pôvodného a nového podvozku

| | | |
|---------------|--------|------|
| Pôvodný návrh | 19,46 | [kg] |
| Nový návrh | 20,253 | [kg] |
| Rozdiel | 0,793 | [kg] |

Ako je možné si z Tab. 32 všimnúť hmotnosť novej zástavby je vyššia ako pôvodný návrh. Naším pôvodným cieľom bolo aby hmotnosť nového podvozku bola nižšia ako pôvodná. Pre naplnenie z časti tohoto cieľu by bolo nutné spracovať topologickú optimalizáciu podvozkového lôže a závesov D, E, F pri ktorých sa odhaduje že by sa hmotnosť mohla znížiť o 1,4 kg.

Záver

Diplomová práca pojednáva o novej možnosti návrhu predného podvozku a jeho zástavby do letúnu Zlín 143 LSi GENIUS a letúnu Z-242 L GURU.

Úvodná časť práce sa zaoberá teoretickými poznatkami o letúne a jeho pristávacom zariadení. Následne po oboznámení sa s pôvodným podvozkom a jeho zástavbou sa práca zaoberá rešeršnou časťou podvozkov letúnov v rovnakej hmotnostnej kategórii ako je Z 143 LSi. Na základe tejto rešerše a konzultácii s vedúcim práce bol zvolený predný podvozok z letúnu VUT 100 Cobra. Z hľadiska zástavby do pôvodných závesov sa tento typ podvozku ukazoval ako najlepšia voľba.

Druhá časť práce sa zaoberá hmotnostným rozborom a zaťažením pristávacieho zariadenia. V hmotnostnom rozbere bolo vytvorené porovnanie zmeny centra kategórie NORMAL a UTILITY pôvodného a nového návrhu zástavby podvozku. Výstupom tejto kapitoly bola dôležitá informácia že hmotnostná obálka pri novom návrhu zostane skoro nedotknutá. Po získaní hmotnostnej obálky, práca pokračovala výpočtom zaťaženia pristávacieho zariadenia. Výpočet bol uskutočnený podľa predpisu CS-23 a bol spočítaný pre 14 kritických hmotnostných konfigurácií. Záverom výpočtu bolo zistenie že najväčšie sily pôsobiace na predný podvozok nastávajú pri prípade vodorovného pristátia so sklonenými reakciami CS 23.479 (a)(2)(i).

Tretia časť práce popisuje pevnostný výpočet zástavby podvozku. Pevnostný výpočet začínal vytvorením MKP modelu pomocou ktorého boli zistené sily pôsobiace v jednotlivých uzloch a prútoch. Výstupom výpočtu bolo zistenie že najviac zaťažované na tlak sú prúty 3; 4 a najviac zaťažované na ťah sú prúty 1; 6. Po návrhu dimenzií trubiek bola vykonaná analýza celej zástavby z ktorej sa zistila maximálna deformácia podvozku pri početnom zaťažení. Maximálna deformácia pri analýze sa pohybovala rádovo v milimetroch do smerov x, y, z .

Konštrukčná časť práce sa zaoberá návrhom podvozkového lôže a spôsobom prenosu síl z podvozku VUT 100 do závesov prihradovej konštrukcie ktoré sa nachádzajú pri motorovej prepážke. Ako finálny návrh bolo zvolené lôže zo zliatiny hliníku na ktoré sa pomocou skrutiek uchytiť 3 oceľové závesy. Vďaka tomuto návrhu sa výrazne zjednoduší montáž, demontáž podvozku a zlepšia sa prevádzkové charakteristiky. Pre prepojenie lôže s prihradovou konštrukciou letúnu budú použité trubky ktoré budú upevnené do prihradovej konštrukcie za pomoci závesového oka a vidličky. Pre tento spôsob uchytenia sa budú musieť závesy na prihradovej konštrukcii mierne modifikovať.

Záver práce je venovaný hmotnostnému zhodnoteniu návrhu v ktorom je možné si všimnúť že celková hmotnosť nového návrhu vychádza o 0,8 kg viac ako pôvodný návrh. Tento výsledok na záver nebol očakávaný. Ak by sa s daným konceptom návrhu pracovalo ďalej a použila by sa topologická optimalizácia podvozkového lôže a použilo by sa efektívnejšie uchytenie závesov do podvozkového lôže, tak by sa daná hmotnosť mohla znížiť rádovo o 1,4 kg. Ak by sa daný návrh začal realizovať s najvyššou pravdepodobnosťou by sa už pri výrobe podvozku VUT 100 upravovali závesy vďaka čomu by sa hmotnosť znížila.

Návrh zástavby podvozku bol vytvorený s prihliadnutím na technické možnosti firmy a ekonomický potenciál. Za zmienku stojí možnosť výroby podvozkového lôže so závesmi ako jeden kus za pomoci 3D tlačie. Vďaka tomuto prístupu by sa hmotnosť lôže razantne znížila.

Zoznam použitých zdrojov

- [1] - Zlin Z-XII. *Czech air spotters* [online]. Czech Republic: Czech air spotters, 2010, 11.9 2010 [cit. 2021-5-12]. Dostupné z: <http://www.czechairspotters.com/photo.php?id=3959>
- [2] - Company History. *Zlin Aircraft a.s.* [online]. Otrokovice Czech Republic [cit. 2021-5-15]. Dostupné z: <https://www.zlinaircraft.eu/en/Company-en/History/#scrollcon>
- [3] - Zlin Trener. Legenda světového letectví, která vznikla v Československu [online]. In: . 15. ledna 2015 [cit. 2021-5-15]. Dostupné z: https://www.idnes.cz/technet/technika/zlin-trener-moravan-otrokovice.A141204_123934_tec_technika_kuz
- [4] - Katalog náhradních dílů: *Z 143 LSi*. Otrokovice, 1999. Dostupné také z: https://www.zlinaircraft.eu/download_file.php?downfile=katalog-nuihradnutch-dutlyt---z-143l-lsi.pdf
- [5] - Interné zdroje ZLIN Aircraft, a.s.
- [6] - Interné zdroje AXL, a.s. Semily
- [7] - © 2021, Diamond Aircraft Industries. *Diamondaircraft.com* [online]. [cit. 2021-5-15]. Dostupné z: <https://www.diamondaircraft.com/en/private-pilots/aircraft/da40/tech-specs/>
- [8] - Airplane maintenance manual- *DA 40 SERIES* [online]. In: . Wiener Neustadt, Austria: Diamond Aircraft Industries, 20.9.2007, s. 949-950 [cit. 2021-5-15]. Dostupné z: <https://freeaircraftmanuals.files.wordpress.com/2011/11/da40-maintenance-manual.pdf>
- [9] - Vulcanair V1.0. Vulcanair.com [online]. [cit. 2021-5-15]. Dostupné z: <https://www.vulcanair.com/vulcanair-v1-0>
- [10] - Service manual model 182 and Skylane series [online]. In: . Wichita, Kansas, USA: Cessna Aircraft Company, 1.3.2004 [cit. 2021-5-15]. Dostupné z: http://data.tmorris.net/aviation/poh/rsv/doc/cessna-maintenance-manuals/Cessna_182&Skylane_1969-1976_D2006-4-13.pdf
- [11] - Evektor-Aerotechnik, a.s. *VUT 100 Cobra* [online]. Kunovice [cit. 2021-5-15]. Dostupné z: <https://www.evektor.cz/cz/vut100-cobra>
- [12] - Interné zdroje Technometry Radotín, s.r.o.
- [13] - GREGOR, Jiří. *Návrh zatahovacího podvozku pro letoun Z 143 LSi*. Brno, 2020. Dostupné také z: <https://www.vutbr.cz/studenti/zav-prace/detail/125314>. Diplomová práce. Vysoké učení technické v Brně, Fakulta strojního inženýrství, Letecký ústav. Vedoucí práce Antonín Píštěk.
- [14] - CS-23: Certifikační specifikace pro letouny kategorie normální, cvičná, akrobatická a pro sběrnou dopravu. Amendment 3. 2013. Dostupné také z: https://www.caa.cz/wp-content/uploads/2019/07/CS-23_konsolidovane_Amdt_3_CZ.pdf
- [15] - Mrňák, I. Drdla, A. *Mechanika pružnost a pevnost I*. 1. Vydání SNTL, 1988, Kapitola 8 s.303

-
- [16] - Pištěk, A. a kolektiv: Soubor podkladů pro pevnostní výpočty leteckých konstrukcí. Revidované vydání Brno 2018. Vysoké učení technické v Brně, Fakulta strojního inženýrství.

Zoznam použitých skratiek a symbolov

| | | |
|-------------------|----------------------|---|
| α_{max} | [°] | Kritický uhol nábehu |
| C_{SAT} | [%] | Stredná aerodynamická tetiva |
| D | [mm] | Vonkajší priemer trubky |
| d | [mm] | Vnútorný priemer trubky |
| D_f | [kp] | Horizontálna zložka sily pôsobiacej na koleso predného podvozku |
| D_f^{\parallel} | [N] | Zaťažujúca sila pôsobiaca na koleso predného podvozku |
| D_f^{\perp} | [N] | Zaťažujúca sila pôsobiaca na koleso predného podvozku |
| D_r | [N] | Horizontálna zložka sily pôsobiaca na koleso hlavného podvozku |
| E | [MPa] | Modul pružnosti |
| E_{HL} | [kg.m] | Energia nutná utlmiť tlmičom a pneumatikami - hlavný podvozok |
| E_{PR} | [kg.m] | Energia nutná utlmiť tlmičom a pneumatikami -predný podvozok |
| F_1 | [mm ²] | Plocha |
| F_2 | [mm ²] | Plocha |
| F_{tlak} | [N] | Najvyššia tlaková sila pôsobiaca v danom prúte |
| $F_{ťah}$ | [N] | Najvyššia ťahová sila pôsobiaca v danom prúte |
| F_{krit} | [N] | Kritická sila |
| f_1 | [-] | Vplyv šírky oka a vzdialenosti otvoru od okraja oka |
| f_2 | [-] | Vplyv dovolenej deformácie graf |
| f_3 | [-] | Vplyv vôle dovolenej pri výrobe |
| f_4 | [-] | Vplyv druhu zaťaženia a význam časti draku letúnu |
| k_1 | [-] | Vplyv zúženia za okom |
| k_2 | [-] | Vplyv smeru pôsobenia sily P na oko |
| g | [m/s ²] | Gravitačné zrýchlenie |
| h | [m] | Stlačenie pneumatiky+zvyšlá zložka posunu osi kolesa |
| i_z | [m ²] | Vzdialenosť od osi otáčania |
| I_z | [kg.m ²] | Moment zotrvačnosti |
| J | [mm ²] | Kvadratický moment |
| j_{tlak} | [-] | Súčiniteľ bezpečnosti v tlaku |
| $j_{ťah}$ | [-] | Súčiniteľ bezpečnosti v ťahu |
| l | [mm] | Vzperná dĺžka |
| L | [-] | pomer uváženeho vztlaku k hmotnosti letúnu |
| m_i | [m] | Hmotnosť prvku |
| $P_{ťah}$ | [N] | Najväčšia ťahová početná sila pôsobiaca v prútoch |
| P_{tlak} | [N] | Najväčšia tlaková početná sila pôsobiaca v prútoch 1 a 6 |
| R_m | [MPa] | Medza pevnosti |
| $R_{p0.2}$ | [MPa] | Zmluvná medza klzu |
| S | [mm ²] | Plocha prierezu |
| S_f | [N] | Zaťažujúca sila |
| S_k | [ft] | Plocha krídla |
| S_{ri} | [N] | Zaťažujúca sila |
| S_{ro} | [N] | Zaťažujúca sila |

| | | |
|----------------------|----------------------|--|
| t | [mm] | Hrúbka |
| V_f | [N] | Vertikálna zložka sily pôsobiaca na koleso predného podvozku |
| V_r | [N] | Vertikálna zložka sily pôsobiaca na koleso hlavného podvozku |
| v_y | [ft/s] | Rýchlosť klesania |
| w_{prist} | [kg] | Maximálna výpočtová pristávacia hmotnosť |
| w_{vzlet} | [kg] | Maximálna výpočtová vzletová hmotnosť |
| W | [kg] | Hmotnosť letúnu |
| W_{HL} | [kg] | Redukovaná hmotnosť hlavného podvozku |
| W_{PR} | [kg] | Redukovaná hmotnosť predného podvozku podvozku |
| x_{HL} | [m] | Súradnica hlavného podvozku |
| x_T | [m] | Poloha ťažiska letúnu |
| $x_{T\%SAT}$ | [%] | Poloha ťažiska voči C_{SAT} |
| y_{HL} | [m] | Súradnica hlavného podvozku |
| y_T | [m] | Poloha ťažiska letúnu |
| γ | [g/cm ³] | Hustota |
| σ | [MPa] | Napätie |
| σ_{otl} | [MPa] | Napätie pri otlačení |
| $\sigma_{PK\ otl}$ | [MPa] | Napätie pri otlačení |
| σ_{pk} | [MPa] | Napätie |
| $\sigma_{PK\ otl}^*$ | [MPa] | Napätie |

Zoznam tabuliek

| | |
|--|----|
| Tab. 1 Výroba Trenerov v číslach [3] | 16 |
| Tab. 2 Technické parametre Z 143 Lsi GENIUS [2] | 18 |
| Tab. 3 – Základné vzdialenosti podvozku [5] | 21 |
| Tab. 4 – Technické parametre predného podvozku 793 HPK-185-19 [6] | 23 |
| Tab. 5- Súhrn hmotností hlavných častí letúnu | 36 |
| Tab. 6-Súhrn hmotností pristávacieho zariadenia | 36 |
| Tab. 7 - Hmotnosť pri vzlete a pristáti pre danú kategóriu | 37 |
| Tab. 8 - Prázdna hmotnosť kategória NORMAL | 37 |
| Tab. 9 - Prázdna hmotnosť kategória UTILITY | 37 |
| Tab. 10 Kritické hmotnostné konfigurácie | 42 |
| Tab. 11 – Statické stlačenie pneumatiky [5] | 43 |
| Tab. 12 – Stlačenie tlmiacej sústavy (tlmiču) [5] | 43 |
| Tab. 13- Vzdialenosť voči súradnicovému systému [5] | 43 |
| Tab. 14 Predpísané zaťaženia z vlečenia | 54 |
| Tab. 15 – Súhrn najkritickejších hodnôt pri jednotlivých prípadoch zaťaženia | 55 |
| Tab. 16- Sily pôsobiace v uzloch pri jednotkovom zaťažení | 57 |
| Tab. 17 - Prevádzkové sily pôsobiace v prútoch | 58 |
| Tab. 18 – Dĺžka prútov | 58 |
| Tab. 19 – Početné Sily pôsobiace v prútoch | 59 |
| Tab. 20 – Návrh veľkého a malého priemeru trubiek 1-6 | 60 |
| Tab. 21- Predpokladaná hmotnosť trubiek | 60 |
| Tab. 22 – Deformácia bodu v stredovej osi podvozku pri prevádzkovom zaťažení | 61 |
| Tab. 23 – Vstupné dáta oka pre prúty 1, 3, 4, 6 | 65 |
| Tab. 24 - Vstupné dáta oka pre prúty 2, 5 | 68 |
| Tab. 25 – Vstupné dáta oka podvozkového lôže uzlu D | 69 |
| Tab. 26 – Vstupné dáta vidličky uzlu E, F | 70 |
| Tab. 27 – súčinitele bezpečnosti jednotlivých uzlov | 71 |
| Tab. 28 Hmotnosť trubkovej zástavby | 72 |
| Tab. 29 Hmotnosť vidličiek a oka pre trubkovú zástavbu | 72 |
| Tab. 30 Hmotnosť podvozkového lôže a závesov so svorníkmi | 72 |
| Tab. 31 Porovnanie hmotností pôvodného a nového podvozku | 72 |

Zoznam obrázkov

| | |
|--|----|
| Obr. 1 Z-XII [1]..... | 16 |
| Obr. 2 Z-242 L GURU [2] | 17 |
| Obr. 3 Z 143 Lsi GENIUS [2]..... | 18 |
| Obr. 4 Krídlo Z 143 Lsi GENIUS [4] | 19 |
| Obr. 5 Trup Z 143 Lsi GENIUS [4] | 19 |
| Obr. 6 Chvostové plochy [4] | 20 |
| Obr. 7 Základné vzdialenosti podvozku [5] | 21 |
| Obr. 8 - Pohľad na umiestnenie podvozku z vtáčej perspektívy [5] | 22 |
| Obr. 9 Pohľad z boku na umiestnenie predného podvozku v relácii s motorom [5]..... | 22 |
| Obr. 10 Upevnenie podvozku [4] | 23 |
| Obr. 11 Uchytenie hlavného podvozku k centroplánu [4] | 24 |
| Obr. 12 Letún DA 40 [7]..... | 26 |
| Obr. 13 Pristávacie zariadenie DA 40 [8] | 26 |
| Obr. 14 Vulcanair V1.0 [9] | 27 |
| Obr. 15 Zástavba podvozku Vulcanair V1.0 [9] | 27 |
| Obr. 16 Zástavba predného podvozku Cessna 182 skylane [10] | 28 |
| Obr. 17 VUT 100 cobra [11] | 29 |
| Obr. 18 Predný podvozok VUT 100 [12]..... | 29 |
| Obr. 19 Priehradová konštrukcia trupu s protipožiarnou prepážkou letúnu Z 143Lsi GENIUS | 31 |
| Obr. 20 Posun Závesových bodov motoru | 31 |
| Obr. 21 Geometria podvozku VUT 100 [12] | 32 |
| Obr. 22 Aktuálne motorové lôže Z 143 [5] Obr. 23 Modifikované motorové lôže na podvozok VUT 100 [13]..... | 33 |
| Obr. 24 Ukážka zatiahnutého podvozku VUT 100 na modifikovanom motorovom lôži. [13] | 33 |
| Obr. 25 Zástavba podvozku VUT 100 | 34 |
| Obr. 26 Súradnicový systém pre výpočet centráží [5] | 35 |
| Obr. 27 Hmotnostná obálka kategória NORMAL | 39 |
| Obr. 28 Hmotnostná obálka kategória UTILITY | 39 |
| Obr. 29 Porovnanie obálky NORMAL a UTILITY | 40 |
| Obr. 30 kritické konfigurácie pre kategóriu NORMAL + UTILITY | 42 |
| Obr. 31 Geometria výpočtu pre výpočet statických reakcií [13] | 44 |
| Obr. 32 Vodorovné pristátie so sklonenými reakciami [13] | 45 |
| Obr. 33 Vodorovné pristátie s predným kolesom tesne nad zemou [13] | 47 |
| Obr. 34 Schéma pristátia s veľkým uhlom nábehu [13]..... | 48 |
| Obr. 35 Pristátie na jedno koleso [13] | 50 |
| Obr. 36 Bočné zaťaženie [13] | 50 |
| Obr. 37 Sily pôsobiace pre brzdení [13] | 51 |
| Obr. 38 Dodatočné podmienky predného podvozku. Zľava podmienka a , b ,c [13] | 53 |
| Obr. 39 Súradnicový systém modelu, značenie | 56 |
| Obr. 40 Sily pôsobiace na podvozok..... | 57 |
| Obr. 41 Model na výpočet deformácie | 61 |
| Obr. 42 – Zástavba podvozku bočný pohľad, predný pohľad' | 62 |
| Obr. 43 Zástavba podvozku | 63 |
| Obr. 44 Zástavba podvozku uzly..... | 63 |

| | |
|---|----|
| Obr. 45 Zástavba podvozku uzly E, F | 64 |
| Obr. 46 Výpočet oka [16]..... | 65 |
| Obr. 47 Rozmery oceľového závesu uzlu D | 67 |
| Obr. 48 Záves E..... | 68 |
| Obr. 49 Záves F..... | 68 |
| Obr. 50- Uzol D podvozkové lôže | 69 |
| Obr. 51 Vidlička uzlu E, F | 70 |
| Obr. 52 Návrh vydličky, oka pre trubkovú zástavbu | 71 |

Zoznam príloh

- **Príloha A : Hmotové konfigurácie a centráž**
- **Príloha B : Prípady zaťaženia**
- **Príloha C : Dynamická skúška podvozku**
- **Príloha D : Sily pôsobiace v uzloch D, E, F**
- **Príloha elektronická : Technická dokumentácia**

Príloha A : Hmotové konfigurácie a centráž

OBSAH

| | |
|--|----|
| P-Tab. 1- Hmotnosti a poloha ťažiska..... | 83 |
| P-Tab. 2- Letové konfigurácie kategória NORMAL + centráž | 84 |
| P-Tab. 3 Letové konfigurácie kategória UTILITY + centráž | 88 |

P-Tab. 1- Hmotnosti a poloha ťažiska

| Označenie | Premenné hmoty názov | Hmotnosť | x | y | z |
|-----------|------------------------------|----------|-------|-------|-------|
| | | [kg] | [m] | [m] | [m] |
| 1 | pilot 60kg vpredu | 60 | 2,686 | 1,485 | 0,262 |
| 2 | pilot 60kg vzadu | 60 | 2,776 | 1,485 | 0,262 |
| 3 | pilot 100kg vpredu | 100 | 2,651 | 1,485 | 0,262 |
| 4 | pilot 100kg vzadu | 100 | 2,741 | 1,485 | 0,262 |
| 5 | piloti 60kg vpredu | 120 | 2,686 | 1,485 | 0 |
| 6 | piloti 60kg vzadu | 120 | 2,776 | 1,485 | 0 |
| 7 | piloti 100kg vpredu | 200 | 2,651 | 1,485 | 0 |
| 8 | piloti 100kg vzadu | 200 | 2,741 | 1,485 | 0 |
| 9 | pasažieri 2 x 77,11 kg | 154,22 | 3,518 | 1,485 | 0 |
| 10 | batožina | 40 | 4 | - | 0 |
| 11 | palivo 120l (hl.) | 86,4 | 2,484 | 1,122 | 0 |
| 12 | palivo 230l (hl.+ vonkajšia) | 165,6 | 2,57 | 1,235 | 0 |
| 13 | pasažieri 2x 52kg | 104 | 3,518 | 1,485 | 0 |
| 14 | pasažieri 2x100kg | 200 | 3,518 | 1,485 | 0 |
| 15 | 1 pasažier 77,11kg | 77,11 | 3,518 | 1,485 | 0,292 |
| 16 | palivo 69l (hl.) | 49,65 | 2,484 | 1,122 | 0 |
| 17 | palivo 75l (vonkajšia) | 54,027 | 2,664 | - | 0 |
| 18 | palivo 95l (hl.) | 64,647 | 2,484 | 1,122 | 0 |
| 19 | 2 piloti 75 kg vzadu | 149,05 | 2,759 | 1,485 | 0 |
| 20 | 2 piloti 89 kg vzadu | 178,247 | 2,651 | - | 0 |
| 21 | batožina 15 kg | 14,827 | 4 | - | 0 |
| 22 | batožina 20 kg | 20 | 4 | - | 0 |
| 23 | batožina 60 kg | 60 | 4 | - | 0 |
| 24 | palivo 80 l (hl.) | 57,464 | 2,484 | - | 0 |
| 25 | palivo 50 l (hl.) | 35,915 | 2,484 | - | 0 |
| 26 | 2 pasažieri 2x 65 kg | 130 | 3,518 | - | 0 |
| 27 | 1 pasažier 65 kg | 65 | 3,518 | - | 0,292 |
| 28 | palivo 80 l (vonkajšie) | 57,464 | 2,664 | - | 0 |
| 29 | palivo 60 l (vonkajšie) | 43,098 | 2,664 | - | 0 |
| 30 | palivo 40 l (vonkajšie) | 28,732 | 2,664 | 1,358 | 0 |
| 31 | batožina 10 kg | 10 | 4 | - | 0 |
| 32 | 2 pasažieri 2x 90 kg | 180 | 3,518 | - | 0 |
| 33 | 2 piloti 90 kg vzadu | 180 | 2,741 | - | 0 |
| 34 | 2 piloti 75 kg vpredu | 150 | 2,659 | 1,485 | 0 |
| 35 | palivo 28 l (hl.) | 20,182 | 2,484 | - | 0 |
| 36 | 2 piloti 75,4 kg vpredu | 150,782 | 2,651 | 1,485 | 0 |
| 37 | palivo 51,6 l (hl.) | 37,182 | 2,484 | - | 0 |
| 38 | batožina 20,8 kg | 20,83 | 4 | 1,35 | 0 |
| 39 | batožina 59,6 kg | 59,582 | 4 | - | 0 |
| 40 | palivo 60,8 (vonkajšia) | 43,782 | 2,664 | - | 0 |
| 41 | palivo 92,6 (vonkajšia) | 66,672 | 2,664 | - | 0 |
| 42 | palivo 68,8 (vonkajšia) | 49,562 | 2,664 | 1,358 | 0 |
| 43 | batožina 21,3 kg | 21,312 | 4 | - | 0 |
| 44 | 2 pasažieri 2 x 94,3 kg | 188,535 | 3,518 | 1,485 | 0 |
| 45 | 1 pasažier 59,6 kg | 59,582 | 3,518 | 1,485 | 0,292 |
| 46 | 2 piloti 86 kg vzadu | 172 | 2,741 | 1,485 | 0 |

P-Tab. 2- Letové konfigurácie kategória NORMAL + centráž

| Označenie | Popis konfigurácie | Hmotnosť | x | x |
|-----------|--------------------|----------|-------|----------------------|
| | | [kg] | [m] | [%C _{SAT}] |
| 1N | 1 | 918,009 | 2,430 | 21,206 |
| 2N | 1+11 | 1004,409 | 2,434 | 21,520 |
| 3N | 1+12 | 1083,609 | 2,451 | 22,646 |
| 4N | 1+10 | 958,009 | 2,495 | 25,608 |
| 5N | 1+10+11 | 1044,409 | 2,494 | 25,545 |
| 6N | 1+10+12 | 1123,609 | 2,506 | 26,348 |
| 7N | 1+9 | 1072,229 | 2,586 | 31,715 |
| 8N | 1+9+11 | 1158,629 | 2,579 | 31,204 |
| 9N | 1+9+12 | 1237,829 | 2,584 | 31,570 |
| 10N | 1+10+15 | 1035,119 | 2,571 | 30,723 |
| 11N | 1+10+11+26 | 1174,409 | 2,608 | 33,153 |
| 12N | 1+10+12+26 | 1253,609 | 2,611 | 33,392 |
| 13N | 2 | 918,009 | 2,436 | 21,601 |
| 14N | 2+11 | 1004,409 | 2,440 | 21,881 |
| 15N | 2+12 | 1083,609 | 2,456 | 22,980 |
| 16N | 2+10 | 958,009 | 2,501 | 25,986 |
| 17N | 2+10+11 | 1044,409 | 2,499 | 25,893 |
| 18N | 2+10+12 | 1123,609 | 2,511 | 26,670 |
| 19N | 2+9 | 1072,229 | 2,591 | 32,053 |
| 20N | 2+9+11 | 1158,629 | 2,583 | 31,516 |
| 21N | 2+9+12 | 1237,829 | 2,588 | 31,863 |
| 22N | 2+10+13 | 1062,009 | 2,600 | 32,673 |
| 23N | 2+10+11+26 | 1174,409 | 2,612 | 33,462 |
| 24N | 2+10+12+26 | 1253,609 | 2,615 | 33,681 |
| 25N | 5 | 978,009 | 2,445 | 22,262 |
| 26N | 5+11 | 1064,409 | 2,449 | 22,472 |
| 27N | 5+12 | 1143,609 | 2,463 | 23,473 |
| 28N | 5+10 | 1018,009 | 2,506 | 26,363 |
| 29N | 5+10+11 | 1104,409 | 2,505 | 26,245 |
| 30N | 5+10+12 | 1183,609 | 2,515 | 26,959 |
| 31N | 5+9 | 1132,229 | 2,591 | 32,070 |
| 32N | 5+9+11 | 1218,629 | 2,584 | 31,559 |
| 33N | 5+9+12 | 1297,829 | 2,589 | 31,886 |
| 34N | 5+10+26 | 1148,009 | 2,621 | 34,053 |
| 35N | 5+10+11+26 | 1234,409 | 2,611 | 33,409 |
| 36N | 5+10+12+26 | 1313,609 | 2,615 | 33,621 |
| 37N | 6 | 978,009 | 2,456 | 23,003 |
| 38N | 6+11 | 1064,409 | 2,459 | 23,153 |
| 39N | 6+12 | 1143,609 | 2,473 | 24,107 |
| 40N | 6+10 | 1018,009 | 2,517 | 27,075 |
| 41N | 6+10+11 | 1104,409 | 2,514 | 26,901 |
| 42N | 6+10+12 | 1183,609 | 2,524 | 27,572 |
| 43N | 6+9 | 1132,229 | 2,601 | 32,711 |
| 44N | 6+9+11 | 1218,629 | 2,593 | 32,154 |
| 45N | 6+9+12 | 1297,829 | 2,597 | 32,445 |
| 46N | 6+22+26 | 1128,009 | 2,606 | 33,054 |

| Označenie | Popis konfigurácie | Hmotnosť | x | x |
|-----------|--------------------|----------|-------|----------------------|
| | | [kg] | [m] | [%C _{SAT}] |
| 47N | 6+10+11+26 | 1234,409 | 2,620 | 33,996 |
| 48N | 6+10+12+26 | 1313,609 | 2,623 | 34,173 |
| 49N | 3 | 958,009 | 2,437 | 21,679 |
| 50N | 3+11 | 1044,409 | 2,441 | 21,942 |
| 51N | 3+12 | 1123,609 | 2,456 | 22,998 |
| 52N | 3+10 | 998,009 | 2,499 | 25,886 |
| 53N | 3+10+11 | 1084,409 | 2,498 | 25,803 |
| 54N | 3+10+12 | 1163,609 | 2,509 | 26,561 |
| 55N | 3+9 | 1112,229 | 2,587 | 31,745 |
| 56N | 3+9+11 | 1198,629 | 2,579 | 31,248 |
| 57N | 3+9+12 | 1277,829 | 2,584 | 31,600 |
| 58N | 3+9+22 | 1132,229 | 2,612 | 33,421 |
| 59N | 3+9+11+22 | 1218,629 | 2,603 | 32,814 |
| 60N | 3+9+12+22 | 1297,829 | 2,606 | 33,065 |
| 61N | 4 | 958,009 | 2,446 | 22,310 |
| 62N | 4+11 | 1044,409 | 2,449 | 22,520 |
| 63N | 4+12 | 1123,609 | 2,464 | 23,536 |
| 64N | 4+10 | 998,009 | 2,508 | 26,491 |
| 65N | 4+10+11 | 1084,409 | 2,506 | 26,361 |
| 66N | 4+10+12 | 1163,609 | 2,517 | 27,080 |
| 67N | 4+9 | 1112,229 | 2,595 | 32,288 |
| 68N | 4+9+11 | 1198,629 | 2,587 | 31,752 |
| 69N | 4+9+12 | 1277,829 | 2,592 | 32,073 |
| 70N | 4+22+26 | 1108,009 | 2,600 | 32,636 |
| 71N | 4+9+11+22 | 1218,629 | 2,610 | 33,309 |
| 72N | 4+9+12+22 | 1297,829 | 2,613 | 33,530 |
| 73N | 7 | 1058,009 | 2,457 | 23,039 |
| 74N | 7+11 | 1144,409 | 2,459 | 23,176 |
| 75N | 7+10 | 1098,009 | 2,513 | 26,813 |
| 76N | 7+10+11 | 1184,409 | 2,511 | 26,670 |
| 77N | 7+10+12 | 1263,609 | 2,521 | 27,313 |
| 78N | 7+9 | 1212,229 | 2,592 | 32,101 |
| 79N | 7+9+11 | 1298,629 | 2,585 | 31,619 |
| 80N | 7+9+11+42 | 1348,191 | 2,588 | 31,815 |
| 81N | 8+35 | 1078,191 | 2,474 | 24,194 |
| 82N | 8+11 | 1144,409 | 2,475 | 24,232 |
| 83N | 8+12 | 1223,609 | 2,487 | 25,054 |
| 84N | 11+36 | 1095,191 | 2,450 | 22,597 |
| 85N | 8+37 | 1095,191 | 2,474 | 24,204 |
| 86N | 8+10+12 | 1263,609 | 2,535 | 28,269 |
| 87N | 8+9 | 1212,229 | 2,607 | 33,098 |
| 88N | 8+9+11 | 1298,629 | 2,599 | 32,550 |
| 89N | 8+9+11 | 1298,629 | 2,599 | 32,550 |
| 90N | 8+9+11+42 | 1348,191 | 2,601 | 32,711 |
| 91N | 8+9+21 | 1227,056 | 2,624 | 34,228 |
| 92N | 8+9+11+30+38 | 1348,191 | 2,622 | 34,097 |

| Označenie | Popis konfigurácie | Hmotnosť | x | x |
|-----------|--------------------|----------|-------|----------------------|
| | | [kg] | [m] | [%C _{SAT}] |
| 92N | 7+9+11+21+30 | 1342,188 | 2,602 | 32,783 |
| 93N | 8+10+11+13+28 | 1345,873 | 2,609 | 33,230 |
| 94N | 7+12+13 | 1327,609 | 2,554 | 29,566 |
| 95N | 8+11+32 | 1324,409 | 2,617 | 33,751 |
| 96N | 9+12+19+43 | 1348,191 | 2,621 | 34,066 |
| 97N | 7+37 | 1095,191 | 2,458 | 23,101 |
| 98N | 8+10 | 1098,009 | 2,530 | 27,913 |
| 99N | 8+10+11 | 1184,409 | 2,526 | 27,690 |
| 100N | 1+23 | 978,009 | 2,526 | 27,674 |
| 101N | 1+11+23 | 1064,409 | 2,523 | 27,445 |
| 102N | 1+12+23 | 1143,609 | 2,532 | 28,101 |
| 103N | 1+15+23 | 1055,119 | 2,598 | 32,541 |
| 104N | 1+11+15+23 | 1141,519 | 2,590 | 31,959 |
| 105N | 1+12+15+23 | 1220,719 | 2,595 | 32,281 |
| 106N | 2+23 | 978,009 | 2,532 | 28,044 |
| 107N | 2+11+23 | 1064,409 | 2,528 | 27,785 |
| 108N | 2+12+23 | 1143,609 | 2,537 | 28,418 |
| 109N | 2+15+23 | 1055,119 | 2,604 | 32,884 |
| 110N | 2+11+15+23 | 1141,519 | 2,595 | 32,277 |
| 111N | 2+12+15+23 | 1220,719 | 2,599 | 32,578 |
| 112N | 5+23 | 1038,009 | 2,535 | 28,295 |
| 113N | 5+11+23 | 1124,409 | 2,531 | 28,030 |
| 114N | 5+12+23 | 1203,609 | 2,540 | 28,616 |
| 115N | 5+15+23 | 1115,119 | 2,603 | 32,857 |
| 116N | 5+11+15+23 | 1201,519 | 2,595 | 32,282 |
| 117N | 5+12+15+23 | 1280,719 | 2,599 | 32,569 |
| 118N | 6+23 | 1038,009 | 2,546 | 28,993 |
| 119N | 6+11+23 | 1124,409 | 2,541 | 28,675 |
| 120N | 6+12+23 | 1203,609 | 2,549 | 29,218 |
| 121N | 6+15+23 | 1115,119 | 2,603 | 32,857 |
| 122N | 6+11+15+23 | 1201,519 | 2,604 | 32,885 |
| 123N | 6+12+15+23 | 1280,719 | 2,607 | 33,135 |
| 124N | 3+23 | 1018,009 | 2,529 | 27,865 |
| 125N | 3+11+23 | 1104,409 | 2,525 | 27,629 |
| 126N | 3+12+23 | 1183,609 | 2,535 | 28,251 |
| 127N | 3+15+23 | 1095,119 | 2,598 | 32,541 |
| 128N | 3+11+15+23 | 1181,519 | 2,590 | 31,979 |
| 129N | 3+12+15+23 | 1260,719 | 2,595 | 32,290 |
| 130N | 4+23 | 1018,009 | 2,538 | 28,458 |
| 131N | 4+11+23 | 1104,409 | 2,533 | 28,176 |
| 132N | 4+12+23 | 1183,609 | 2,542 | 28,762 |
| 133N | 4+15+23 | 1095,119 | 2,607 | 33,093 |
| 134N | 4+11+15+23 | 1181,519 | 2,598 | 32,490 |
| 135N | 4+12+15+23 | 1260,719 | 2,602 | 32,769 |
| 136N | 7+23 | 1118,009 | 2,540 | 28,598 |
| 137N | 7+11+23 | 1204,409 | 2,536 | 28,330 |

| Označenie | Popis konfigurácie | Hmotnosť | x | x |
|-----------|--------------------|----------|-------|----------------------|
| | | [kg] | [m] | [%C _{SAT}] |
| 138N | 7+12+39 | 1283,191 | 2,543 | 28,828 |
| 139N | 7+15+23 | 1195,119 | 2,603 | 32,836 |
| 140N | 7+11+15+23 | 1281,519 | 2,595 | 32,298 |
| 141N | 7+12+27+39 | 1348,191 | 2,590 | 31,984 |
| 142N | 8+23 | 1118,009 | 2,556 | 29,679 |
| 143N | 8+11+23 | 1204,409 | 2,551 | 29,333 |
| 144N | 8+12+39 | 1283,191 | 2,557 | 29,770 |
| 145N | 8+15+23 | 1195,119 | 2,618 | 33,847 |
| 146N | 8+11+15+23 | 1281,519 | 2,609 | 33,241 |
| 147N | 8+12+27+39 | 1348,191 | 2,604 | 32,880 |
| 148N | 18+44+46 | 1283,191 | 2,622 | 34,122 |
| 149N | 11+32+33+40 | 1348,191 | 2,616 | 33,731 |
| 150N | 8+11+15+23+41 | 1348,191 | 2,612 | 33,424 |
| 151N | 8+10+11+13 | 1288,409 | 2,606 | 33,065 |
| 152N | 9+11+19+22+30 | 1296,411 | 2,618 | 33,862 |
| 153N | 8+11+23+27+30 | 1298,141 | 2,602 | 32,753 |
| 154N | 7+9+21 | 1227,056 | 2,609 | 33,244 |
| 155N | 7+12+45 | 1283,191 | 2,521 | 27,326 |

P-Tab. 3 Letové konfigurácie kategória UTILITY + centráž

| Označenie | Popis konfigurácie | Hmotnosť | x | x |
|-----------|--------------------|----------|-------|----------------------|
| | | [kg] | [m] | [%C _{SAT}] |
| 1U | 1 | 901,009 | 2,407 | 19,708 |
| 2U | 1+11 | 987,409 | 2,414 | 20,158 |
| 3U | 2 | 901,009 | 2,413 | 20,110 |
| 4U | 2+11 | 987,409 | 2,420 | 20,526 |
| 5U | 5 | 961,009 | 2,425 | 20,876 |
| 6U | 5+11 | 1047,409 | 2,430 | 21,204 |
| 7U | 6 | 961,009 | 2,436 | 21,631 |
| 8U | 6+11 | 1047,409 | 2,440 | 21,896 |
| 9U | 3 | 941,009 | 2,415 | 20,254 |
| 10U | 3+11 | 1027,409 | 2,421 | 20,640 |
| 11U | 4 | 941,009 | 2,425 | 20,896 |
| 12U | 4+11 | 1027,409 | 2,430 | 21,229 |
| 13U | 7 | 1041,009 | 2,438 | 21,773 |
| 14U | 8+35 | 1061,191 | 2,456 | 22,970 |
| 15U | 11+36 | 1078,191 | 2,432 | 21,367 |
| 16U | 8+37 | 1078,191 | 2,456 | 23,000 |
| 17U | 7+37 | 1078,191 | 2,440 | 21,879 |
| 18U | 1+22 | 921,009 | 2,442 | 22,030 |
| 19U | 1+11+22 | 1007,409 | 2,446 | 22,272 |
| 20U | 5+31 | 971,009 | 2,441 | 21,965 |
| 21U | 5+11 | 1047,409 | 2,430 | 21,204 |
| 22U | 11+19 | 1076,459 | 2,447 | 22,347 |
| 23U | 19 | 990,059 | 2,443 | 22,129 |
| 24U | 34 | 991,009 | 2,429 | 21,133 |

Príloha B : Prípady zaťaženia

| | |
|--|----|
| B-Tab. 1 - Statické zaťaženie 25% stlačenia podvozku – CS 23.479 | 90 |
| B-Tab. 2- Statické zaťaženie 100% stlačenia podvozku | 90 |
| B-Tab. 3 - Vodorovné pristátie so sklonenými reakciami, 25% stlačenia podvozku CS 23.479 (a)(2)(i) | 91 |
| B-Tab. 4 - Vodorovné pristátie s predným kolesom tesne nad zemou CS 23.479(a)(2)(ii)..... | 92 |
| B-Tab. 5– Pristátie s veľkým uhlom nábehu CS 23.481 | 93 |
| B-Tab. 6- Bočné zaťaženie CS 23.485 | 94 |
| B-Tab. 7 - Podmienky brzdenia pri rolovaní CS 23.493 | 95 |
| B-Tab. 8 - Dodatočné podmienky pre predné podvozky CS 23.499 | 96 |

B-Tab. 1 - Statické zaťaženie 25% stlačenia podvozku – CS 23.479

| 25% stlačenie podvozku | | | | | | | | | |
|-------------------------------|----------|----------|----------|--------------|----------|----------|----------|-----------------------|-------------------------|
| Označenie | W | x | x | W . g | b | d | a | Vf (predné) | Vr (1 hlavné) |
| | [kg] | [m] | [%CSAT] | [N] | [m] | [m] | [m] | [N] | [N] |
| 80N | 1348,2 | 2,588 | 31,81 | 13219,77 | 0,282 | 1,734 | 1,452 | 2152,1 | 5533,8 |
| 92N | 1348,2 | 2,622 | 34,10 | 13219,77 | 0,248 | 1,734 | 1,486 | 1893,0 | 5663,4 |
| 74N | 1144,4 | 2,459 | 23,18 | 11221,57 | 0,411 | 1,734 | 1,323 | 2659,4 | 4281,1 |
| 83N | 1223,6 | 2,487 | 25,05 | 11998,17 | 0,383 | 1,734 | 1,351 | 2650,0 | 4674,1 |
| 148N | 1283,2 | 2,622 | 34,12 | 12582,41 | 0,248 | 1,734 | 1,486 | 1799,0 | 5391,7 |
| 155N | 1283,2 | 2,521 | 27,33 | 12582,41 | 0,349 | 1,734 | 1,385 | 2533,5 | 5024,5 |
| 15U | 1078,2 | 2,432 | 21,37 | 10572,27 | 0,438 | 1,734 | 1,296 | 2669,8 | 3951,2 |
| 24U | 991,0 | 2,429 | 21,13 | 9717,398 | 0,441 | 1,734 | 1,293 | 2473,5 | 3622,0 |
| 94N | 1327,6 | 2,554 | 29,57 | 13017,95 | 0,316 | 1,734 | 1,418 | 2370,7 | 5323,6 |
| 10U | 1027,4 | 2,421 | 20,64 | 10074,32 | 0,449 | 1,734 | 1,285 | 2606,9 | 3733,7 |
| 2U | 987,4 | 2,414 | 20,16 | 9682,098 | 0,456 | 1,734 | 1,278 | 2545,5 | 3568,3 |
| 1U | 901,0 | 2,407 | 19,71 | 8834,898 | 0,463 | 1,734 | 1,272 | 2356,9 | 3239,0 |
| 84N | 1095,2 | 2,450 | 22,60 | 10738,96 | 0,420 | 1,734 | 1,315 | 2598,5 | 4070,2 |
| 22U | 1076,5 | 2,447 | 22,35 | 10555,28 | 0,423 | 1,734 | 1,311 | 2576,6 | 3989,3 |

B-Tab. 2- Statické zaťaženie 100% stlačenia podvozku

| 100% stlačenie podvozku | | | | | | | | | |
|--------------------------------|----------|----------|----------|--------------|----------|----------|----------|-----------------------|-------------------------|
| Označenie | W | x | x | W . g | b | d | a | Vf (predné) | Vr (1 hlavné) |
| | [kg] | [m] | [%CSAT] | [N] | [m] | [m] | [m] | [N] | [N] |
| 80N | 1348,2 | 2,588 | 31,815 | 13219,77 | 0,282 | 1,701 | 1,419 | 2193,52 | 5513,13 |
| 92N | 1348,2 | 2,622 | 34,097 | 13219,77 | 0,248 | 1,701 | 1,453 | 1929,40 | 5645,18 |
| 74N | 1144,4 | 2,459 | 23,176 | 11221,57 | 0,411 | 1,701 | 1,290 | 2710,60 | 4255,49 |
| 83N | 1223,6 | 2,487 | 25,054 | 11998,17 | 0,383 | 1,701 | 1,318 | 2700,97 | 4648,60 |
| 148N | 1283,2 | 2,622 | 34,122 | 12582,41 | 0,248 | 1,701 | 1,454 | 1833,59 | 5374,41 |
| 155N | 1283,2 | 2,521 | 27,326 | 12582,41 | 0,349 | 1,701 | 1,352 | 2582,20 | 5000,10 |
| 15U | 1078,2 | 2,432 | 21,367 | 10572,27 | 0,438 | 1,701 | 1,264 | 2721,17 | 3925,55 |
| 24U | 991,0 | 2,429 | 21,133 | 9717,40 | 0,441 | 1,701 | 1,260 | 2521,07 | 3598,16 |
| 94N | 1327,6 | 2,554 | 29,566 | 13017,95 | 0,316 | 1,701 | 1,386 | 2416,33 | 5300,81 |
| 10U | 1027,4 | 2,421 | 20,640 | 10074,32 | 0,449 | 1,701 | 1,253 | 2657,08 | 3708,62 |
| 2U | 987,4 | 2,414 | 20,158 | 9682,10 | 0,456 | 1,701 | 1,246 | 2594,50 | 3543,80 |
| 1U | 901,0 | 2,407 | 19,708 | 8834,90 | 0,463 | 1,701 | 1,239 | 2402,30 | 3216,30 |
| 84N | 1095,2 | 2,450 | 22,597 | 10738,96 | 0,420 | 1,701 | 1,282 | 2648,48 | 4045,24 |
| 22U | 1076,5 | 2,447 | 22,347 | 10555,28 | 0,423 | 1,701 | 1,278 | 2626,22 | 3964,53 |

B-Tab. 3 - Vodorovné pristátie so sklonenými reakciami, 25% stlačenia podvozku CS 23.479 (a)(2)(i)

| Označenie | W | v _y | a' | b' | d' | W _{hl} | W _{pr} | E _{hl} | Prep. energie | V _r | D _r | E _{pr} | Prep. energie | V _f | D _f |
|-----------|--------|----------------|-------|-------|-------|-----------------|-----------------|-----------------|------------------|----------------|----------------|-----------------|------------------|----------------|----------------|
| | [kg] | [m/s] | [m] | [m] | [m] | [kg] | [kg] | [kg.m] | [N] | [N] | [N] | [kg.m] | [N] | [N] | [N] |
| 80N | 1348,2 | 2,788 | 1,193 | 0,490 | 1,683 | 477,7 | 392,7 | 240,36 | 11178,3 | 10846,29 | 2704,28 | 185,43 | 11526,0 | 11183,6 | 2788,4 |
| 92N | 1348,2 | 2,788 | 1,226 | 0,457 | 1,683 | 490,9 | 366,3 | 247,01 | 11305,8 | 10969,98 | 2735,12 | 172,94 | 9820,0 | 9528,3 | 2375,7 |
| 74N | 1144,4 | 2,676 | 1,074 | 0,609 | 1,683 | 365,2 | 414,0 | 172,35 | 9609,4 | 9324,01 | 2324,74 | 182,57 | 11160,0 | 10828,5 | 2699,8 |
| 83N | 1223,6 | 2,722 | 1,100 | 0,583 | 1,683 | 399,9 | 423,8 | 193,70 | 10050,7 | 9752,15 | 2431,48 | 192,15 | 12440,0 | 12070,5 | 3009,5 |
| 148N | 1283,2 | 2,754 | 1,225 | 0,457 | 1,683 | 467,2 | 348,8 | 230,55 | 10982,2 | 10656,01 | 2656,84 | 161,29 | - | - | - |
| 155N | 1283,2 | 2,754 | 1,130 | 0,552 | 1,683 | 431,0 | 421,1 | 212,70 | 10570,4 | 10256,41 | 2557,21 | 194,74 | 12800,0 | 12419,8 | 3096,6 |
| 15U | 1078,2 | 2,637 | 1,045 | 0,638 | 1,683 | 334,8 | 408,5 | 154,43 | 9148,6 | 8876,84 | 2213,24 | 175,76 | 10210,0 | 9906,7 | 2470,0 |
| 24U | 991,0 | 2,582 | 1,038 | 0,645 | 1,683 | 305,7 | 379,6 | 136,52 | 8609,3 | 8353,55 | 2082,77 | 157,76 | - | - | - |
| 94N | 1327,6 | 2,778 | 1,161 | 0,521 | 1,683 | 458,1 | 411,3 | 229,11 | 10972,4 | 10646,49 | 2654,47 | 192,96 | 12580,0 | 12206,3 | 3043,4 |
| 10U | 1027,4 | 2,605 | 1,042 | 0,641 | 1,683 | 318,1 | 391,1 | 144,05 | 8903,4 | 8638,98 | 2153,94 | 164,96 | - | - | - |
| 2U | 987,4 | 2,580 | 1,037 | 0,645 | 1,683 | 304,4 | 378,7 | 135,73 | 8599,5 | 8344,03 | 2080,40 | 157,15 | - | - | - |
| 1U | 901,0 | 2,521 | 1,028 | 0,655 | 1,683 | 275,2 | 350,7 | 118,53 | 0,0 | - | - | 140,20 | - | - | - |
| 84N | 1095,2 | 2,647 | 1,068 | 0,615 | 1,683 | 347,5 | 400,3 | 161,23 | 9423,1 | 9143,24 | 2279,66 | 173,31 | 9840,0 | 9547,7 | 2380,5 |
| 22U | 1076,5 | 2,636 | 1,064 | 0,618 | 1,683 | 340,4 | 395,6 | 156,92 | 9168,2 | 8895,86 | 2217,99 | 170,07 | 9440,0 | 9159,6 | 2283,7 |

B-Tab. 4 - Vodorovné pristátie s predným kolesom tesne nad zemou CS 23.479(a)(2)(ii)

| Označenie | I _z | W | v _y | a' | b' | d' | i _z ² | W _{hl} | E _{hl} | Prep. energie | V _r | D _r |
|-----------|-------------------|--------|----------------|-------|-------|-------|-----------------------------|-----------------|-----------------|------------------|----------------|----------------|
| | kg.m ² | [kg] | [m/s] | [m] | [m] | [m] | [m ²] | [kg] | [kg.m] | [N] | [N] | [N] |
| 80N | 1991,13 | 1348,2 | 2,788 | 1,193 | 0,490 | 1,683 | 1,4769 | 579,8 | 301,36 | 12060,8 | 11702,6 | 2917,8 |
| 92N | 2034,71 | 1348,2 | 2,788 | 1,226 | 0,457 | 1,683 | 1,5092 | 592,1 | 307,77 | 12158,9 | 11797,7 | 2941,5 |
| 74N | 1798,92 | 1144,4 | 2,676 | 1,074 | 0,609 | 1,683 | 1,5719 | 463,0 | 226,24 | 10786,1 | 10465,7 | 2609,4 |
| 83N | 1809,24 | 1223,6 | 2,722 | 1,100 | 0,583 | 1,683 | 1,4786 | 497,5 | 249,27 | 11296,0 | 10960,5 | 2732,8 |
| 148N | 2020,73 | 1283,2 | 2,754 | 1,225 | 0,457 | 1,683 | 1,5748 | 566,4 | 288,92 | 11874,5 | 11521,8 | 2872,7 |
| 155N | 1874,07 | 1283,2 | 2,754 | 1,130 | 0,552 | 1,683 | 1,4605 | 530,8 | 270,76 | 11668,6 | 11322,0 | 2822,9 |
| 15U | 1760,62 | 1078,2 | 2,637 | 1,045 | 0,638 | 1,683 | 1,6329 | 431,6 | 206,27 | 10393,9 | 10085,2 | 2514,5 |
| 24U | 1757,83 | 991,0 | 2,582 | 1,038 | 0,645 | 1,683 | 1,7738 | 401,5 | 185,98 | 9884,0 | 9590,4 | 2391,2 |
| 94N | 1924,54 | 1327,6 | 2,778 | 1,161 | 0,521 | 1,683 | 1,4496 | 559,0 | 288,87 | 11874,5 | 11521,8 | 2872,7 |
| 10U | 1769,95 | 1027,4 | 2,605 | 1,042 | 0,641 | 1,683 | 1,7227 | 414,9 | 194,76 | 10070,3 | 9771,2 | 2436,2 |
| 2U | 1754,89 | 987,4 | 2,580 | 1,037 | 0,645 | 1,683 | 1,7773 | 400,0 | 185,04 | 9874,2 | 9580,9 | 2388,8 |
| 1U | 1752,05 | 901,0 | 2,521 | 1,028 | 0,655 | 1,683 | 1,9445 | 369,1 | 165,15 | 9472,2 | 9190,8 | 2291,5 |
| 84N | 1760,62 | 1095,2 | 2,647 | 1,068 | 0,615 | 1,683 | 1,6076 | 443,3 | 213,09 | 10590,0 | 10275,4 | 2562,0 |
| 22U | 1768,96 | 1076,5 | 2,636 | 1,064 | 0,618 | 1,683 | 1,6433 | 436,6 | 208,54 | 10433,1 | 10123,2 | 2524,0 |

B-Tab. 5– Pristátie s veľkým uhlom nábehu CS 23.481

| Označenie | I _z | W | x | v _y | R | i _z ² | W _{hl} | E _{hl} | V _r |
|-----------|----------------------|--------|----------------------|----------------|-------|-----------------------------|-----------------|-----------------|----------------|
| | [kg.m ²] | [kg] | [%C _{SAT}] | [m/s] | [m] | [m ²] | [kg] | [kg.m] | [N] |
| 80N | 1991,13 | 1348,2 | 31,815 | 2,788 | 0,081 | 1,48 | 671,1 | 353,12 | 12649,2 |
| 92N | 2034,71 | 1348,2 | 34,097 | 2,788 | 0,047 | 1,51 | 673,1 | 354,14 | 12659,0 |
| 74N | 1798,92 | 1144,4 | 23,176 | 2,676 | 0,212 | 1,57 | 556,3 | 275,36 | 11668,6 |
| 83N | 1809,24 | 1223,6 | 25,054 | 2,722 | 0,183 | 1,48 | 598,2 | 303,51 | 12060,8 |
| 148N | 2020,73 | 1283,2 | 34,122 | 2,754 | 0,047 | 1,57 | 640,7 | 330,90 | 12355,0 |
| 155N | 1874,07 | 1283,2 | 27,326 | 2,754 | 0,148 | 1,46 | 632,1 | 326,44 | 12306,0 |
| 15U | 1760,62 | 1078,2 | 21,367 | 2,637 | 0,236 | 1,63 | 521,4 | 252,46 | 11276,4 |
| 24U | 1757,83 | 991,0 | 21,133 | 2,582 | 0,236 | 1,77 | 480,4 | 225,61 | 10864,6 |
| 94N | 1924,54 | 1327,6 | 29,566 | 2,778 | 0,114 | 1,45 | 657,9 | 344,13 | 12531,5 |
| 10U | 1769,95 | 1027,4 | 20,640 | 2,605 | 0,253 | 1,72 | 495,3 | 235,65 | 10982,2 |
| 2U | 1754,89 | 987,4 | 20,158 | 2,580 | 0,262 | 1,78 | 475,4 | 222,92 | 10590,0 |
| 1U | 1752,05 | 901,0 | 19,708 | 2,521 | 0,266 | 1,94 | 434,7 | 197,27 | 10295,8 |
| 84N | 1760,62 | 1095,2 | 22,597 | 2,647 | 0,222 | 1,61 | 531,3 | 258,74 | 11472,5 |
| 22U | 1768,96 | 1076,5 | 22,347 | 2,636 | 0,226 | 1,64 | 522,0 | 252,62 | 11276,4 |

B-Tab. 6- Bočné zaťaženie CS 23.485

| Označenie | Popis konfigurácie | W | V _r | S _{ri} | S _{ro} |
|-----------|--------------------|--------|----------------|-----------------|-----------------|
| | | [kg] | [N] | [N] | [N] |
| 80N | 7+9+11+42 | 1348,2 | 8791,1 | 6609,9 | 4362,5 |
| 92N | 8+9+11+30+38 | 1348,2 | 8791,1 | 6609,9 | 4362,5 |
| 74N | 7+11 | 1144,4 | 7462,3 | 5610,8 | 3703,1 |
| 83N | 8+12 | 1223,6 | 7978,8 | 5999,1 | 3959,4 |
| 148N | 18+44+46 | 1283,2 | 8367,3 | 6291,2 | 4152,2 |
| 155N | 7+12+45 | 1283,2 | 8367,3 | 6291,2 | 4152,2 |
| 15U | 11+36 | 1078,2 | 7030,6 | 5286,1 | 3488,8 |
| 24U | 34 | 991,0 | 6462,1 | 4858,7 | 3206,7 |
| 94N | 7+12+13 | 1327,6 | 8656,9 | 6509,0 | 4295,9 |
| 10U | 3+11 | 1027,4 | 6699,4 | 5037,2 | 3324,5 |
| 2U | 1+11 | 987,4 | 6438,6 | 4841,0 | 3195,1 |
| 1U | 1 | 901,0 | 5875,2 | 4417,4 | 2915,5 |
| 84N | 11+36 | 1095,2 | 7141,4 | 5369,5 | 3543,9 |
| 22U | 11+19 | 1076,5 | 7019,3 | 5277,6 | 3483,2 |

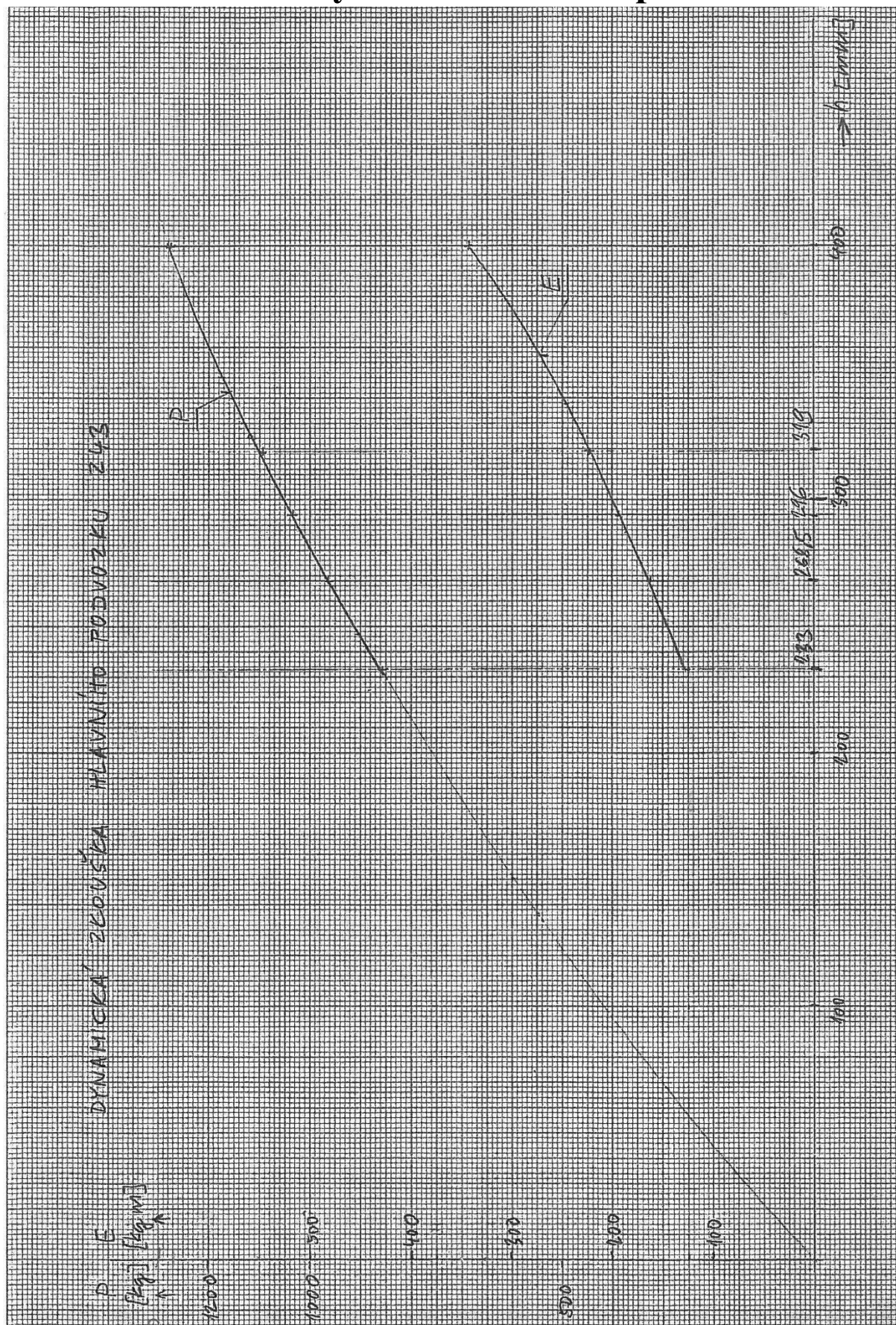
B-Tab. 7 - Podmienky brzdenia pri rolovaní CS 23.493

| Označenie | W | x | b | d | a | W _{hl} | W _{pr} | V _f | V _r | D _r |
|-----------|----------|---------|-------|-------|-------|-----------------|-----------------|----------------|----------------|----------------|
| | [kg] | [%CSAT] | [m] | [m] | [m] | [kg] | [kg] | [N] | [N] | [N] |
| 80N | 1348,191 | 31,815 | 0,282 | 1,735 | 1,453 | 564,4 | 219,4 | 2861,0 | 7360,6 | 5888,5 |
| 92N | 1348,191 | 34,097 | 0,248 | 1,735 | 1,487 | 577,6 | 193,0 | 2516,5 | 7532,9 | 6026,3 |
| 74N | 1144,409 | 23,176 | 0,411 | 1,735 | 1,324 | 436,7 | 271,1 | 3535,4 | 5694,6 | 4555,7 |
| 83N | 1223,609 | 25,054 | 0,383 | 1,735 | 1,352 | 476,7 | 270,1 | 3522,9 | 6217,3 | 4973,9 |
| 148N | 1283,191 | 34,122 | 0,248 | 1,735 | 1,487 | 549,9 | 183,4 | 2391,5 | 7171,5 | 5737,2 |
| 155N | 1283,191 | 27,326 | 0,349 | 1,735 | 1,386 | 512,5 | 258,3 | 3368,0 | 6683,3 | 5346,7 |
| 15U | 1078,191 | 21,367 | 0,438 | 1,735 | 1,297 | 403,0 | 272,2 | 3549,2 | 5255,9 | 4204,8 |
| 24U | 991,009 | 21,133 | 0,441 | 1,735 | 1,294 | 369,4 | 252,1 | 3288,2 | 4818,0 | 3854,4 |
| 94N | 1327,609 | 29,566 | 0,316 | 1,735 | 1,419 | 543,0 | 241,7 | 3151,6 | 7081,1 | 5664,9 |
| 10U | 1027,409 | 20,640 | 0,449 | 1,735 | 1,286 | 380,8 | 265,7 | 3465,6 | 4966,6 | 3973,3 |
| 2U | 987,409 | 20,158 | 0,456 | 1,735 | 1,279 | 364,0 | 259,5 | 3384,0 | 4746,6 | 3797,3 |
| 1U | 901,009 | 19,708 | 0,463 | 1,735 | 1,272 | 330,4 | 240,3 | 3133,3 | 4308,6 | 3446,8 |
| 84N | 1095,191 | 22,597 | 0,420 | 1,735 | 1,315 | 415,2 | 264,9 | 3454,4 | 5414,2 | 4331,4 |
| 22U | 1076,459 | 22,347 | 0,423 | 1,735 | 1,312 | 406,9 | 262,7 | 3425,4 | 5306,6 | 4245,3 |

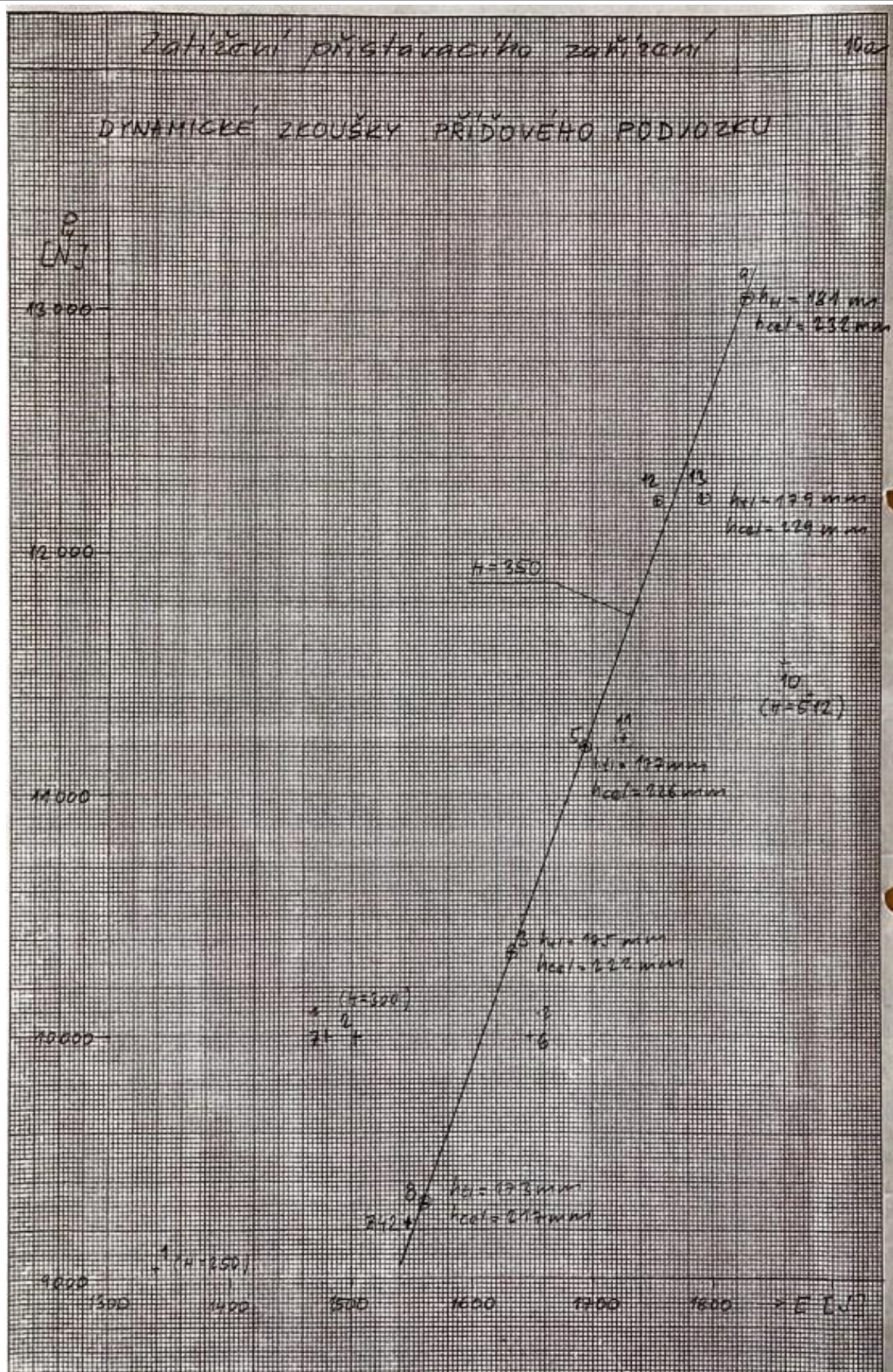
B-Tab. 8 - Dodatočné podmienky pre predné podvozky CS 23.499

| Označenie | Popis konfigurácie | W | W _{pr} | a | | b | | c | |
|-----------|--------------------|--------|-----------------|----------------|----------------|----------------|----------------|----------------|----------------|
| | | | | V _f | D _f | V _f | D _f | V _f | S _f |
| | | [kg] | [kg] | [N] | [N] | [N] | [N] | [N] | [±kg] |
| 80N | 7+9+11+42 | 1348,2 | 219,4 | 493,6 | 394,9 | 493,6 | 197,4 | 493,6 | 345,5 |
| 92N | 8+9+11+30+38 | 1348,2 | 193,0 | 434,2 | 347,3 | 434,2 | 173,7 | 434,2 | 303,9 |
| 74N | 7+11 | 1144,4 | 271,1 | 610,0 | 488,0 | 610,0 | 244,0 | 610,0 | 427,0 |
| 83N | 8+12 | 1223,6 | 270,1 | 607,8 | 486,2 | 607,8 | 243,1 | 607,8 | 425,5 |
| 148N | 18+44+46 | 1283,2 | 183,4 | 412,6 | 330,1 | 412,6 | 165,0 | 412,6 | 288,8 |
| 155N | 7+12+45 | 1283,2 | 258,3 | 581,1 | 464,9 | 581,1 | 232,4 | 581,1 | 406,7 |
| 15U | 11+36 | 1078,2 | 272,2 | 612,3 | 489,9 | 612,3 | 244,9 | 612,3 | 428,6 |
| 24U | 34 | 991,0 | 252,1 | 567,3 | 453,8 | 567,3 | 226,9 | 567,3 | 397,1 |
| 94N | 7+12+13 | 1327,6 | 241,7 | 543,7 | 435,0 | 543,7 | 217,5 | 543,7 | 380,6 |
| 10U | 3+11 | 1027,4 | 265,7 | 597,9 | 478,3 | 597,9 | 239,2 | 597,9 | 418,5 |
| 2U | 1+11 | 987,4 | 259,5 | 583,8 | 467,1 | 583,8 | 233,5 | 583,8 | 408,7 |
| 1U | 1 | 901,0 | 240,3 | 540,6 | 432,5 | 540,6 | 216,2 | 540,6 | 378,4 |
| 84N | 11+36 | 1095,2 | 264,9 | 596,0 | 476,8 | 596,0 | 238,4 | 596,0 | 417,2 |
| 22U | 11+19 | 1076,5 | 262,7 | 591,0 | 472,8 | 591,0 | 236,4 | 591,0 | 413,7 |

Príloha C : Dynamická skúška podvozku



Obr.C.1 – Dynamická skúška hlavného podvozku Z – 143 LSI [5]



Obr.C.2 – Dynamická skúška predného podvozku Z – 143 LSI [5]

Príloha D : Sily pôsobiace v uzloch D, E, F

D-Tab. 1 – Sily pôsobiace v uzloch D, E, F

| | D | | | E | | | F | | |
|----------------------|----------------|----------------|----------------|----------------|----------------|----------------|----------------|----------------|----------------|
| | F _x | F _y | F _z | F _x | F _y | F _z | F _x | F _y | F _z |
| | [N] | [N] | [N] | [N] | [N] | [N] | [N] | [N] | [N] |
| Statické zaťaženie | 0,0 | -1694,6 | -2121,5 | 0,0 | -488,4 | 1062,1 | 0,0 | -488,4 | 1062,1 |
| CS 23.479 (a)(2)(i) | 0,0 | -10915,0 | 314,1 | 0,0 | -758,6 | 1382,0 | 0,0 | -758,6 | 1382,0 |
| CS 23.479 (a)(2)(ii) | 0,0 | 0,0 | 0,0 | 0,0 | 0,0 | 0,0 | 0,0 | 0,0 | 0,0 |
| CS 23.481 | 0,0 | 0,0 | 0,0 | 0,0 | 0,0 | 0,0 | 0,0 | 0,0 | 0,0 |
| CS 23.485 | 0,0 | 0,0 | 0,0 | 0,0 | 0,0 | 0,0 | 0,0 | 0,0 | 0,0 |
| CS 23.493 | 0,0 | -2253,7 | -2821,6 | 0,0 | -649,5 | 1412,6 | 0,0 | -649,5 | 1412,6 |
| CS 23.499 a | 0,0 | -8510,6 | 11030,1 | 0,0 | 1250,1 | -3134,3 | 0,0 | 1250,1 | -3134,3 |
| CS 23.499 c | -20048,3 | -3812,7 | -4773,4 | 7901,6 | 1750,8 | 2776,0 | 7901,6 | -3948,4 | 2003,5 |
| CS 23.499 c | 20048,3 | -3812,7 | -4773,4 | -7901,6 | -3948,4 | 2003,5 | -7901,6 | 1750,8 | 2776,0 |